

Proyecto Final de Carrera
Ingeniero Industrial

Sistema de medición de la calidad del cielo nocturno en ecosistemas de aguas costeras

MEMORIA

Autor: Xavier Ges Cros
Director: Manuel García Gil
Convocatoria: Septiembre 2016



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Resumen

En los últimos años ha ido aumentando el interés generado por el impacto de la contaminación lumínica en el medio natural que nos rodea y en la sociedad en particular, debido a sus afectaciones tanto en las especies animales y vegetales como en el hábitat humano, afectando a sus costumbres, su salud y a sus recursos energéticos y financieros.

El presente proyecto pretende ayudar a contribuir en el estudio de la problemática de la contaminación lumínica mediante la medición de la calidad del cielo nocturno en el mar. Permitiendo analizar y cuantificar su impacto así como ayudar a valorar si las medidas correctoras que se van adoptando en política energética y alumbrado público en las ciudades dan los resultados esperados.

Para ello primero se ha estudiado la problemática de la contaminación lumínica, sus focos contaminantes y sus afectaciones, tanto de forma general como de forma más particular en el ámbito marítimo, las maneras de medir el resplandor luminoso existentes, como se clasifica la calidad del cielo nocturno y como se protegen los espacios sensibles. Siendo en nuestro caso en particular, la utilización del sensor Sky Quality Meter la mejor opción para medir la calidad del cielo nocturno.

Para poder utilizar el sensor en el ámbito marítimo ha sido necesario el diseño de un accesorio, para ello se ha estudiado previamente la problemática derivada de los movimientos de las embarcaciones y las distintas opciones existentes para estabilizarlos y minimizarlos. Obteniendo las especificaciones necesarias previas de diseño del accesorio para su fabricación. Al no existir estudios similares en el mar, se ha definido y elaborado una metodología para poder realizarlos.

Se ha aplicado dicha metodología en el trabajo de campo de este proyecto que ha permitido obtener lecturas reales de la calidad del cielo nocturno en aguas costeras del Área Metropolitana de Barcelona y poderlas comparar con las lecturas estimadas derivadas de las imágenes por satélite y concretar la distancia a la que llega el impacto de la contaminación lumínica provocado por la actividad humana.

Los resultados conseguidos indican un rápido descenso del brillo de cielo, y una correspondencia bastante clara con los mapas de predicción de contaminación lumínica.

Sumario

RESUMEN	1
SUMARIO	3
1. GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS.	8
2. INTRODUCCIÓN	11
2.1. Antecedentes	11
2.2. Objetivos del proyecto	13
2.3. Alcance del proyecto	13
3. ESTUDIO DE LA PROBLEMÁTICA	15
3.1. Contaminación Lumínica.....	15
3.1.1. Definición de la Contaminación Lumínica.	15
3.1.2. El foco contaminante en el ámbito marítimo.	16
3.1.3. Afectaciones de la Contaminación Lumínica.....	27
3.1.4. Forma de medir el resplandor luminoso.....	30
3.1.5. Clasificación Calidad del Cielo Nocturno.....	35
3.1.6. Clasificación de entornos naturales según su sensibilidad.....	36
3.2. Caso particular de aplicación: la embarcación.....	38
3.2.1. Movimientos de las embarcaciones.	39
3.2.2. Estabilizadores de movimiento.....	44
4. DISEÑO SOPORTE MARÍTIMO SQM.	48
4.1. Consideraciones de Diseño.	49
4.2. Descripción y justificación de la solución.	51
4.2.1. Validación geométrica y estructural.....	56
4.3. Especificaciones de producto.....	59
5. TRABAJO DE CAMPO.	61
5.1. Descripción de la metodología de trabajo.	62
5.1.1. Información Previa de la Zona de Estudio.....	63
5.1.2. Planificación de la Navegación y la Medición.....	67
5.1.3. Navegación y Medición Experimental.	71
5.1.4. Tratamiento y Análisis de los Datos.	73
5.1.5. Presentación de Resultados.	74
6. ESTUDIO ECONÓMICO.	80
6.1. Oficina Técnica.....	80

6.2. Fabricación de la solución.	81
6.3. Trabajo de Campo	83
7. ESTUDIO IMPACTO AMBIENTAL.	84
CONCLUSIONES	87
AGRADECIMIENTOS	89
BIBLIOGRAFÍA	90
7.1. Referencias bibliográficas.....	90
7.2. Otras Referencias Bibliográficas.....	92

Índice de figuras:

Fig. 1 Ejemplo contaminación lumínica	15
Fig. 2 Lentes de Faro	16
Fig. 3 Ejemplos focos emisores de luz marítimos	17
Fig. 4 Ayudas a la navegación	18
Fig. 5 Ejemplo características baliza giratoria, potencia, intensidad y alcance	22
Fig. 6 Ejemplos de luces de navegación y su intensidad luminosa mínima, fuente	23
Fig. 7 Luces de trabajo y cubierta	23
Fig. 8 Luces de trabajo en la pesca	24
Fig. 9 Torres petrolíferas iluminadas de noche	25
Fig. 10 Buques de pasaje iluminados de noche	26
Fig. 11 Esquema funcionamiento SQM y especificaciones técnicas	32
Fig. 12 Conversión gráfica de magnitudes cielo nocturno	33
Fig. 13 Medidor ASTMON	34
Fig. 14 Sistema Excalibur	34
Fig. 15 Parámetros calidad del cielo nocturno según la fundación Starlight	35
Fig. 16 Mapa de protección de la CL de Catalunya	37
Fig. 17 Montaje estándar del SQM	38
Fig. 18 Grados de libertad y movimientos de una embarcación	39
Fig. 19 Amortiguación del balance	40
Fig. 20 Ejemplos ángulos de escora	43
Fig. 21 Ecuaciones y características de las olas	44
Fig. 22 Sistemas estabilizadores de movimiento	45
Fig. 23 Proceso de diseño	48
Fig. 24 Representación gráfica de la solución y sus componentes	52
Fig. 25 Sección de la solución y sus componentes	52
Fig. 26 Inclinaciones de trabajo máximas, 50 ° eje transversal y 25 ° eje longitudinal	53
Fig. 27 Mallado y sus características	57
Fig. 28 Tensiones de Von Misses	57

Fig. 29 Análisis de desplazamientos y Factor de seguridad	58
Fig. 30 Esquema metodología de trabajo	62
Fig. 31 Zona de estudio marítima	63
Fig. 32 Imagen nocturna costa de Barcelona	64
Fig. 33 Distribución potencia instalada y emisión de flujo luminoso del alumbrado público AMB	65
Fig. 34 Mapa de la calidad del cielo nocturno de la AMB	65
Fig. 35 Estimación mapa calidad del cielo nocturno en aguas de Barcelona	66
Fig. 36 Zonas de protección CL aguas costeras Barcelona	67
Fig. 37 Embarcación con las que se han realizado las medidas	69
Fig. 38 Ejemplo predicción nubosidad	71
Fig. 39 Ejemplos ubicación	72
Fig. 40 Mapa calidad del cielo nocturno ruta 1, fuente: lecturas reales y codificación Generalitat	74
Fig. 41 Lecturas calidad del cielo nocturno en función distancia a la costa ruta 1	74
Fig. 42 Intervalos calidad cielo nocturno ruta 1	75
Fig. 43 Mapa calidad cielo nocturno ruta 2	76
Fig. 44 Lecturas calidad del cielo nocturno en función distancia a la costa ruta 2	76
Fig. 45 Intervalos calidad cielo nocturno ruta 2	77
Fig. 46 Mapa calidad cielo nocturno rutas 1 y 2	78
Fig. 47 Comparativa lecturas reales calidad cielo zona de estudio	78
Fig. 48 Comparativa intervalos calidad cielo nocturno zona de estudio	79
Fig. 49 Emisión flujo superior alumbrado AMB	79
Fig. 50 Tareas del proyecto	80

Índice de tablas:

Tabla 1 Tipos y Características de lámparas más utilizadas _____	19
Tabla 2 Alcance de las ayudas a la navegación en función su intensidad luminosa ____	21
Tabla 3 Estimación puntos de luz, potencia y flujo luminoso buque Ropax _____	24
Tabla 4 Estimación puntos de luz, potencia y flujo luminoso buque Pasaje _____	26
Tabla 5 Calificación de la calidad del cielo nocturno en Catalunya _____	35
Tabla 6 Valores máximos de iluminación intrusa en Catalunya _____	37
Tabla 7 Consideraciones de diseño _____	50
Tabla 8 Lista de componentes, materiales y materia prima _____	55
Tabla 9 Inventario ayudas a la navegación, fuente: carta náutica _____	64
Tabla 10 Estimación calidad cielo nocturno distancia a la costa _____	66
Tabla 11 Ejemplo noches de duración oscuridad astronómica > 3h _____	70
Tabla 12 Presupuesto Costes Oficina Técnica _____	80
Tabla 13 Costes prototipo _____	81
Tabla 14 Costes fabricación _____	82
Tabla 15 Presupuesto Trabajo de Campo _____	83
Tabla 16 Cuantificación del impacto ambiental del ciclo de vida del producto _____	84
Tabla 17 Valores de eco indicadores en producción, uso y desecho del producto ____	86

1. Glosario de términos y acrónimos.

AMB: Área Metropolitana de Barcelona.

Balizas: Conjunto de una luz, de su soporte y de las construcciones auxiliares, construido para producir una luz de apariencia determinada, y que permite a la navegación el conocimiento de un punto geográfico y marcación de un peligro para la navegación.

CL: Contaminación lumínica.

Eficacia Luminosa: Es la relación entre las características fotométricas y radiométricas de una fuente de luz. Mide la eficiencia con que la potencia eléctrica se convierte en radiación visible. Medida en Lúmenes por vatio [lm/W].

EFS: Emisión de Flujo Superior. Cantidad de flujo lumínico que escapa de una instalación de alumbrado hacia el cielo.

Escotobiología: Ciencia que estudia la biología de la noche y cubre diferentes áreas de investigación. Animales, insectos, aves, plantas, salud humana, sociología... Persigue el reconocimiento y la necesidad de considerar la oscuridad de la noche, como un elemento más en los ecosistemas.

Flujo Luminoso: Luz total emitida desde la fuente (ejemplo: lámpara) Medido en lúmenes [lm].

IALA: Del inglés, International Association of Lighthouse Authorities, norma internacional dictada para estandarizar las características del boyado que delimita canales navegables y sus ayudas adyacentes a fin de unificar criterios.

Iluminancia: Es la densidad del flujo luminoso que incide sobre una superficie. Es el cociente del flujo luminoso y la superficie cuando dicha superficie está uniformemente iluminada. Medida en Lux [lx] = lm/m^2

Iluminancia del Observador: La iluminancia en lúmenes por metro cuadrado (lux) o en millas marinas-candelas producidas por la luz que incide en el ojo de un observador cuando esté orientado en la dirección de la luz.

Intensidad Luminosa: Es el flujo luminoso en una determinada dirección. Medida en Candela [cd].

LED: Light Emitting Diode. Tipo de lámpara.

Lúmen [lm]: Unidad de medida del flujo lumínico en Sistema Internacional.

Luminancia (brillo): Es la porción del flujo luminoso emitido en una dirección específica por la unidad de superficie de un cuerpo luminoso. Esta variable es un término importante para calcular la sensación de brillo o luminosidad de las fuentes de luz y objetos iluminados.

Medida en Candelas por metro cuadrado [cd/m^2]

Lux [lx]: Unidad de medida de la iluminancia en Sistema Internacional. Un lux equivale a iluminar una superficie de 1 m^2 con 1 lm ($1 \text{ lux} = 1 \text{ lumen/m}^2$).

NM: Del inglés Nautical Miles. Milla náutica, unidad de distancia de uso marítimo que equivale a 1.852 metros.

RIPA: Reglamento Internacional para Prevenir los Abordajes en la Mar.

SQM: Sky Quality Meter. Dispositivo de medida de fondo de cielo. Desarrollado por la marca Unihedron.

Tensión de Von Mises: Es la tensión equivalente que actúa sobre los elementos diferenciales del modelo y que es comparada con la tensión límite elástico del material. Permite conocer si la tensión está dentro de la zona elástica y óptima o por el contrario se encuentra en la zona plástica no deseada.

Zénit: Intersección de la vertical de un lugar con la esfera celeste, por encima de la cabeza del observador.

2. Introducción

2.1. Antecedentes

Durante millones de años, los seres vivos de la Tierra han ido adaptando sus procesos biológicos de acuerdo con dos ciclos astronómicos fundamentales: la sucesión de las estaciones y la alternancia día-noche.

La aparición de la luz artificial ha permitido de manera sustancial reducir la limitación natural que suponen dichos ciclos y se ha convertido para los humanos en un catalizador de su actividad, permitiendo por ejemplo aumentar la seguridad y el rendimiento del trabajo, aumentar sus actividades de ocio y su calidad de vida, en cualquier franja horaria y en cualquier lugar.

Pero el crecimiento indiscriminado que ha experimentado el uso de la luz artificial, ha dado lugar a una nueva forma de agresión medioambiental. **La contaminación Lumínica. (CL)**

En la década de los 70 surgieron las primeras voces de alarma cuando los astrónomos empezaron a constatar que las estrellas iban desapareciendo tras un velo luminoso creciente, conocido como **resplandor luminoso**. Hasta la invención del telescopio, la astronomía se desarrolló utilizando como único instrumento de observación el ojo humano, conociendo el cielo con sorprendente precisión, pues ellos no tenían el problema de la CL de la ciudades ni el de la contaminación atmosférica. Hoy difícilmente somos capaces de distinguir las estrellas y planetas menos brillantes, es decir, la oscuridad está desapareciendo.

Posteriormente se les unieron los grupos ecologistas, preocupados al principio por el **incremento del consumo energético** y, después por las **consecuencias** que podría ocasionar sobre el **equilibrio biológico** la invasión de la luz artificial en los espacios naturales como por ejemplo problemas de orientación, alteración de los ciclos biológicos y reproductivos, modificación de la relación depredador-presa, llegando a provocar desajustes poblacionales que se transmiten a lo largo de la cadena trófica. Apareciendo la **Escotobiología** como la ciencia de estudio de los seres vivos que tienen actividad nocturna.

También apareció la preocupación por la **intrusión lumínica** o entrada de luz artificial exterior en los hogares que puede provocar molestias a los humanos así como problemas en la salud al disminuir la producción nocturna de melatonina.

En las últimas décadas se ha manifestado públicamente la preocupación por la pérdida de los cielos nocturnos y la problemática de la CL tanto por instituciones internacionales como por iniciativas de ciudadanos y científicos.

“Las personas de las generaciones futuras tienen derecho a una Tierra indemne y no contaminada, incluyendo el derecho a un cielo puro”. [1]

En los años 90 “CelFosc” (cielo oscuro), Asociación contra la Contaminación Lumínica tiene como objetivo “influir en la sociedad en la que vivimos para mejorar el alumbrado público y privado; iluminar mejor, respetando el medio ambiente y la salud; ahorrar recursos naturales; aumentar la seguridad vial y vigilar el buen uso de nuestros impuestos derrochados en malas instalaciones e iluminaciones”.

El año internacional de la Astronomía 2009, ratificado así por la Asamblea General de las Naciones Unidas en conmemoración del cuatrocientos aniversario de la primera observación astronómica con telescopio, realizada por Galileo Galilei, supuso un año importante en la concienciación sobre la necesidad de preservar y proteger la herencia natural, científica y cultural que supone disponer de un cielo oscuro y la consiguiente mayor calidad de vida, bienestar y progreso para la ciudadanía.

“El cielo, nuestra herencia común y universal, es una parte integral del ambiente percibido por la humanidad, que ha observado siempre el cielo para interpretarlo o para entender las leyes físicas que gobiernan el universo. Este interés en la Astronomía ha tenido implicaciones profundas para la ciencia, la filosofía, la religión, la cultura y nuestro concepto general del mundo” texto que forma parte de la proclamación de 2009 como el Año Internacional de la Astronomía, que se hizo en la 33ª Conferencia General de la Unesco, en el 2005.

El 20 de diciembre de 2013, la Organización de las Naciones Unidas (ONU), en su 68ª Asamblea Anual proclamó 2015 como el Año Internacional de la Luz y las Tecnologías basadas en la Luz, a iniciativa de UNESCO y la Sociedad Europea de Física, con el objetivo de comunicar a la sociedad la importancia de la luz, y sus tecnologías asociadas, en el mundo actual en áreas tan importantes como la energía, la educación, la salud, la comunicación, etc.

La fundación Starlight iniciativa internacional tiene como uno de sus objetivos prioritarios “la protección y conservación de los cielos nocturnos, considerados un importante recurso científico, cultural, medioambiental y turístico”. Así como la promoción del turismo científico, y más en concreto, el turismo de las estrellas, como segmento emergente, sostenible y de calidad.

Hasta la fecha, la mayoría de los estudios de CL y medición del cielo nocturno celeste se han localizado en tierra firme, siendo minoritarios los estudios en zonas marítimas.

2.2. Objetivos del proyecto

El objetivo del proyecto es determinar la metodología y tipos de resultados para medir la contaminación lumínica en aguas costeras. Al ser la primera vez que se realizan mediciones de este tipo, el presente proyecto tiene una clara componente de plan piloto. Es por ello que se desea hacer las mediciones y se ha diseñado y realizado un prototipo para poder utilizar el sensor Sky Quality Meter en el ámbito marítimo debido a la singularidad de los movimientos de las embarcaciones.

2.3. Alcance del proyecto

Debido a que el propósito del proyecto es popularizar y facilitar el conocimiento de la CL en el mar mediante la medición de la calidad del fondo celeste, se ha optado por utilizar un instrumento de medición ya existente de bajo coste y de reconocido funcionamiento. El SQM-LU-DL de la marca Unihedron.

Por consiguiente queda dentro del alcance del proyecto:

- ☒ El diseño de un prototipo de accesorio marítimo para el sensor Sky Quality Meter para poder ser utilizado a bordo de embarcaciones.
- ☒ Realizar navegaciones marítimas para la toma de mediciones de la calidad del cielo nocturno en aguas costeras de Barcelona.
- ☒ Elaborar una metodología de uso para la toma mediciones en el mar.
- ☒ Analizar los datos obtenidos.
- ☒ Determinar de forma general la calidad del cielo nocturno en aguas costeras cercanas al AMB.
- ☒ Comparar los resultados obtenidos con datos estimados en el Starlight pollution map 2006 de David Lorenz.

Quedando fuera del alcance del proyecto:

- ✗ El diseño y construcción electrónica de un sensor de medición de la calidad del cielo nocturno de uso marítimo.
- ✗ Elaborar un mapa detallado de la calidad del fondo celeste en aguas costeras de Barcelona.

3. Estudio de la problemática

3.1. Contaminación Lumínica.

3.1.1. Definición de la Contaminación Lumínica.

Según el “Decret 190/2015, de 25 de agosto, de desarrollo de la Ley 6/2001, de 31 de mayo, de ordenación ambiental de alumbrado para la protección del medio nocturno” de la Generalitat de Catalunya, se define la Contaminación Lumínica como:

“Es el aumento del fondo de brillo del cielo nocturno natural, a causa de la dispersión i reflexión de la luz procedente de la iluminación artificial. Este aumento de luz artificial perturba y altera las propiedades del medio receptor. También se considera contaminación lumínica cualquier forma de iluminación artificial que afecte un medio receptor que no sea el objeto de la iluminación.” [2]

La contaminación lumínica puede provenir de la suma de los siguientes factores:

- Emisión directa de la fuente de luz.
- Reflexión en las superficies iluminadas.
- Refracción de la luz en las partículas del aire.

La **emisión directa** de la fuente de luz es la causa más importante de la CL, debido a la intensidad de la fuente contaminante y consiste en la emisión de luz hacia el entorno oscuro, pudiendo ser hacia el cielo o hacia un hábitat de seres vivos.

La **reflexión** en las superficies iluminadas es un fenómeno inevitable si queremos conservar la iluminación de calles, monumentos, etc....

La **refracción** de la luz en las partículas del aire consiste en la luz que llega al cielo se refleja en los átomos y en partículas en suspensión que encontramos en la atmosfera modificando el brillo natural del fondo celeste.

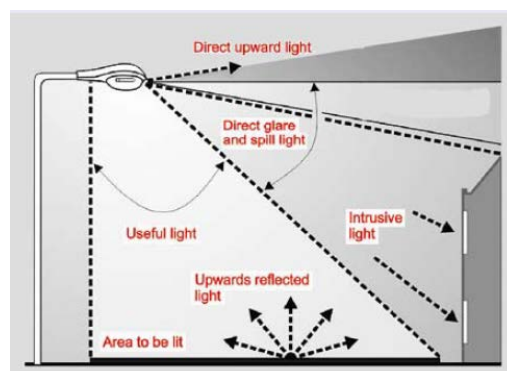


Fig. 1 Ejemplo contaminación lumínica, fuente: [3]

3.1.2. El foco contaminante en el ámbito marítimo.

El principal foco contaminante artificial son aquellos elementos que transforman la energía primaria (normalmente eléctrica) en lumínica, las lámparas. Las cuales se introducen dentro de las luminarias, elemento que aloja la fuente de luz, para que su flujo lumínico se distribuya de la forma más adecuada posible según su uso en distintas direcciones del espacio, mediante espejos, prismas y difusores entre otros.

Por consiguiente, cualquier sistema de alumbrado artificial nocturno que emita radiación proveniente de la fuente luminosa hacia un entorno oscuro debe considerarse foco potencial de CL.

Hasta la primera aplicación de la electricidad para las luces a finales del siglo XIX, toda la luz artificial era producida por el fuego. La iluminación ha progresado desde la pilas de madera (usadas hasta los años 1800), pasando por lámparas de mecha de aceite, vaporizadores de aceite, quemadores de gas y posteriormente lámparas de filamento entre otras, adaptándose los instrumentos ópticos a cada tecnología, primero con reflectores y finalmente con lentes.

Es interesante anotar los esfuerzos que han ocupado durante años a los científicos para entender como perciben los humanos la luz e incrementar la eficiencia y la efectividad de las ayudas luminosas para la navegación así como sus ópticas asociadas.

Las lentes de vidrio diseñadas por el pionero Augustine Fresnel alrededor del 1820 permanecen aún como el principal elemento para las modernas ayudas a la navegación, aunque actualmente normalmente son de plástico y no de vidrio.

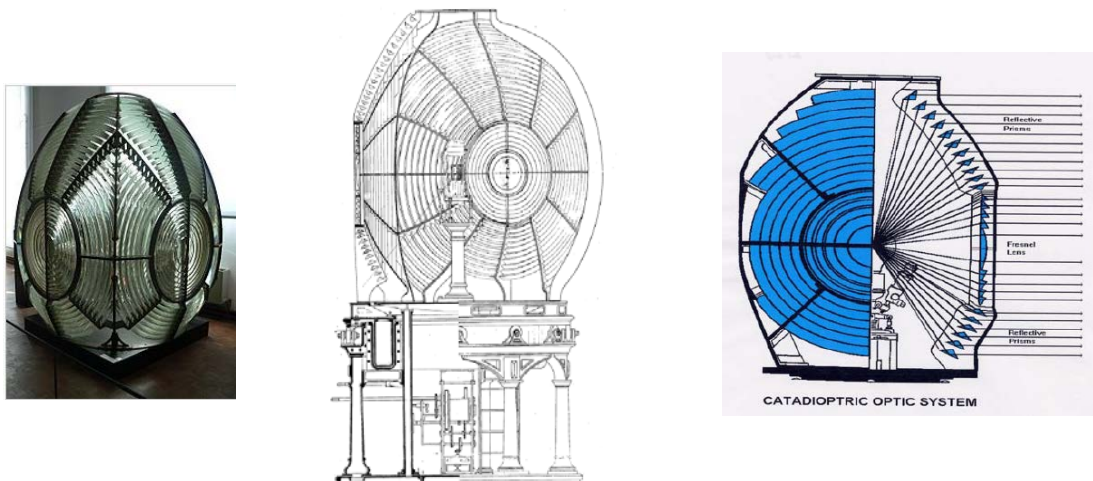


Fig. 2 Lentes de Faro, fuente: [4]

Algunos países aún continúan usando luces de ayuda a la navegación quemando acetileno o gas propano. Son preferidas por su robustez y simplicidad de operación. Aunque la mayoría de sistemas lumínicos de ayuda a la navegación marítima utilizan la electricidad proveniente de distintos sistemas de generación (red eléctrica, fotovoltaica, eólica y mareomotriz).

Cabe mencionar que la tecnología de luces LED (Light Emitting Diode) es ampliamente utilizada como alternativa a las lámparas de filamento.

En el ámbito marítimo los focos emisores de luz se pueden agrupar de forma general en función de su utilización en:

- Sistemas lumínicos de ayuda a la navegación marítima.
 - Faros, buques faro y balizas.
- Luces de navegación.
 - Todo horizonte, de alcance, de tope y de costado.
- Luces de cubierta y/o trabajo.
 - Para actividades profesionales y/o de ocio.
- Instalaciones fijas de explotación industrial.
 - Torres petrolíferas, parques eólicos, piscifactorías.
- Buques de pasaje.



Buque de pasaje



Explotación Industrial:
Torre petrolífera



Ayuda navegación:
Faro

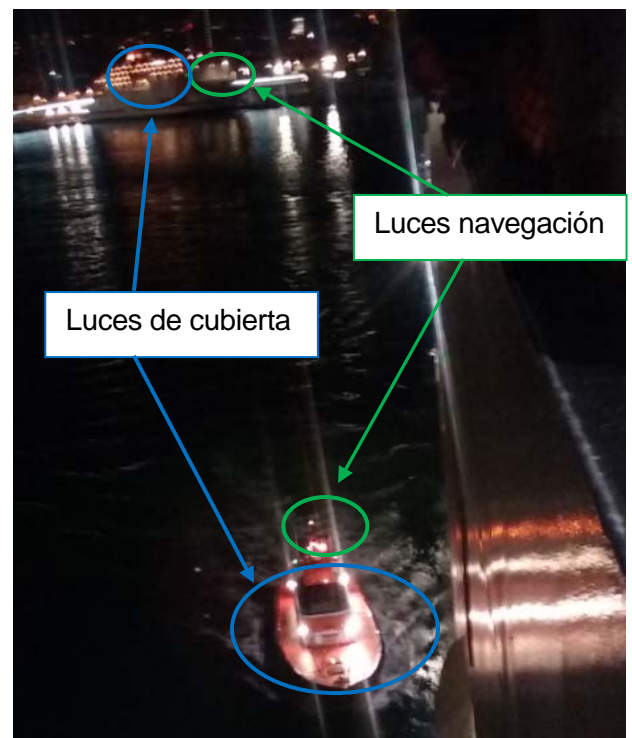


Fig. 3 Ejemplos focos emisores de luz marítimos, fuente: [5], [6], [7] y autor

3.1.2.1. Sistemas lumínicos de ayuda a la navegación marítima.

Una ayuda a la navegación marítima es todo dispositivo externo al buque que está diseñado y construido para mejorar la seguridad a la navegación de los buques y facilitar el tráfico marítimo.

Las señales luminosas son luces artificiales situadas sobre la costa o el mar, cuya situación es indicada en las cartas náuticas y que sirven de apoyo a la navegación. Los rayos luminosos son principalmente dirigidos horizontalmente.

Son universalmente utilizadas por los navegantes por su simplicidad y claridad. Las modificaciones que han ido sufriendo han tendido a conseguir mayor seguridad de funcionamiento, así como mayor rapidez y claridad de reconocimiento.

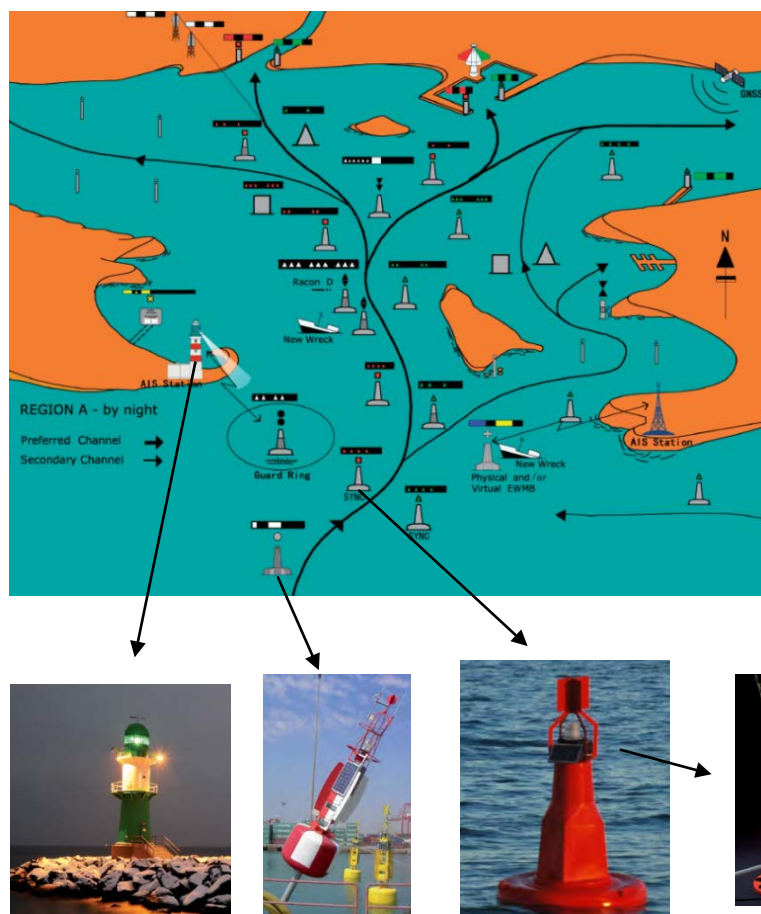
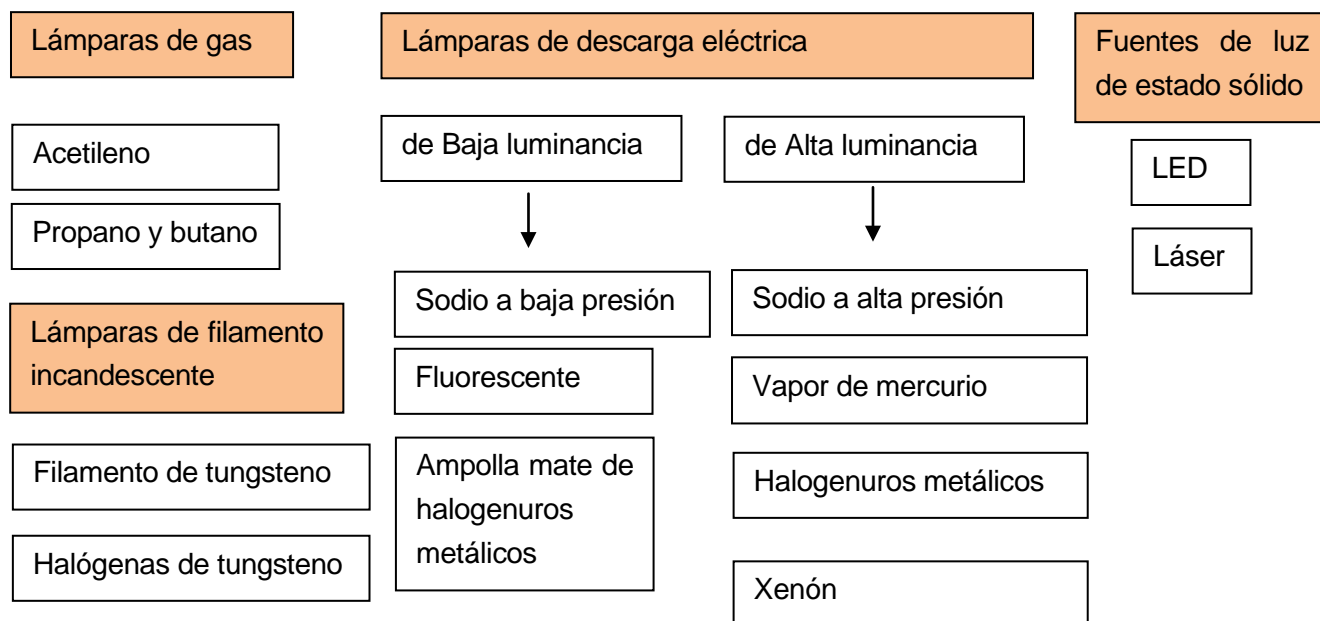


Fig. 4 Ayudas a la navegación, fuente: [6] y [8]

Las fuentes de luz más usadas para tal fin son:



Tipos de lámpara		Potencia (W)	Eficiencia (lm/W)	Flujo luminoso (lm)	Vida útil (horas)
Filamento Incandescente					
	Filamento de Tungsteno	2 - 100	9-19	18 – 1.900	300 – 1.500
	Halógenas de tungsteno	5 - 1.000	20-25	100 – 25.000	300 – 4.000
Lámparas de Descarga					
	Fluorescentes	8 - 100	80-100	640 – 10.000	>20.000
	De vapor de sodio de baja presión	20 - 180	180	3.600- 32.4000	10.000
	De vapor de sodio de alta presión	50 - 400	90	4.500-36.000	10.000
	Halogenuros metálicos	10 – 2.000	80-110	800 – 220.000	6.000-20.000
	De Xenón	150 – 2.000	35	5.250 -70.000	2.000
Diodos Emisores de luz (LED)					
	Rojo y verde	1-5x10 ⁻³	25-30	0,025 – 0,15	>100.000
	Amarillo y blanco	1-5x10 ⁻³	20-30	0,02 – 0,15	>100.000
	Azul	1 -5x10 ⁻³	10	0,01 – 0,05	>100.000

Tabla 1 Tipos y Características de lámparas más utilizadas, fuente: Elaboración propia a partir de [9].

LÁMPARAS DE GAS: Sistema muy utilizado anteriormente en lugares remotos o en boyas donde no existía la posibilidad de conectar el equipo a la red eléctrica, también usado como sistema de reserva en caso de fallo de la red eléctrica, aunque en algunos países todavía queda equipos de gas, prácticamente ha desaparecido debido al uso generalizado de la energía fotovoltaica. En España se dejaron de utilizar a mediados de los 90.

La luz de acetileno fue la primera forma fiable de automatizar faros, boya y balizas a principios del siglo XX.

LÁMPARAS DE FILAMENTO INCANDESCENTE: Son radiadores térmicos y generan luz al calentar un cuerpo sólido hasta que llegue a una alta temperatura, cuanto mayor sea la temperatura, más “brillante” será la luz. La luz se produce por el calentamiento del filamento en el interior de una ampolla en la que se ha introducido un gas.

LÁMPARAS DE DESCARGA: La luz se consigue estableciendo una corriente eléctrica entre dos electrodos situados en un tubo lleno con un gas o vapor ionizado. Estas lámparas se caracterizan por tener una gran eficiencia y larga duración, es la tecnología más usada en la actualidad en los faros giratorios para conseguir grandes alcances.

DIODOS EMISORES DE LUZ (LED): Los LEDs son dispositivos electrónicos semiconductores que emiten una radiación casi monocromática. La unión semiconductor se encapsula en un plástico protector transparente que puede incorporar una lente o no. En la actualidad esta tecnología no tiene muchas ventajas para faros con grandes alcances (distancias superiores a 27,7 km (15 NM) aunque se está avanzando rápidamente.

Principalmente cubren una zona o franja costera de un ancho de 55,5 km, unas 30 millas náuticas. Fuera de esta zona, en general, resulta difícil tener alcances luminosos adecuados y también conseguir alcances geográficos.

A continuación tabla que permite relacionar las Intensidades Luminosas con el Alcance nominal para observaciones nocturnas. (Con una transmisibilidad atmosférica de $T=0,74$ y un umbral de iluminación de 0,2 microlux)

Alcance Nominal		Intensidad Luminosa (cd)	Alcance Nominal		Intensidad Luminosa (cd)	Alcance Nominal		Intensidad Luminosa (cd)
(NM)	(km)		(NM)	(km)		(MN)	(km)	
1,00	1,85	0,90	7,00	12,96	270,00	17,00	31,48	32.000,00
1,50	2,78	2,40	8,00	14,82	480,00	18,00	33,34	49.000,00
2,00	3,70	5,00	9,00	16,67	820,00	19,00	35,19	73.000,00
2,50	4,63	6,00	10,00	18,52	1.400,00	20,00	37,04	110.000,00
3,00	5,56	15,00	11,00	20,37	2.200,00	21,00	38,89	160.000,00
3,50	6,48	24,00	12,00	22,22	3.600,00	22,00	40,74	240.000,00
4,00	7,41	36,00	13,00	24,08	5.700,00	23,00	42,60	360.000,00
4,50	8,33	53,00	14,00	25,93	8.900,00	24,00	44,45	520.000,00
5,00	9,26	77,00	15,00	27,78	14.000,00	25,00	46,30	770.000,00
6,00	11,11	150,00	16,00	29,63	21.000,00	26,00	48,15	1.100.000,00

Tabla 2 Alcance de las ayudas a la navegación en función su intensidad luminosa, fuente [9]

Aunque a la señalización marítima de costas no se le aplica el decreto 19/2015 de 25 de agosto “ordenació ambiental de l'enllumenat per a la protecció del medi nocturn” artículo 3.2, resulta interesante observar que para satisfacer un alcance superior a 22,2 km (12 NM) se supera el límite permitido de intensidad de 2.500 cd en zonas protegidas tipo E1 (protección máxima), para un alcance superior a 25,9 km (14 NM) se supera el límite permitido de 7.500 cd en zona tipo E2 (protección alta), para un alcance superior a 27,7 km (15 NM) se supera el límite permitido de 10.000 cd en zona tipo E3 (protección moderada) y para un alcance superior a 31,5 km (17 NM) se supera el límite permitido de 25.000 cd en zona tipo E4 (protección menor).

Aunque estén fuera del alcance del reglamento, porque señalización, puertos y aeropuertos son “excepciones” a la aplicación del reglamento se observa que todas las balizas de faros superan los límites permitidos de protección independientemente de la zona de protección en la que estén.

Aunque muchas veces, siempre que es posible, la luz del faro únicamente es emitida en los sectores que dan al mar intentando no iluminar a zonas terrestres para no perjudicar, no siempre se consigue o es posible.

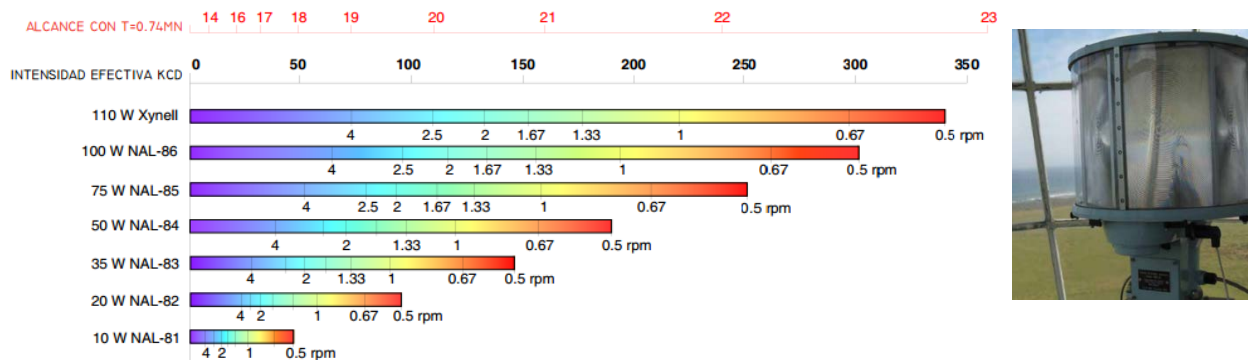


Fig. 5 Ejemplo características baliza giratoria, potencia, intensidad y alcance, fuente: [6]

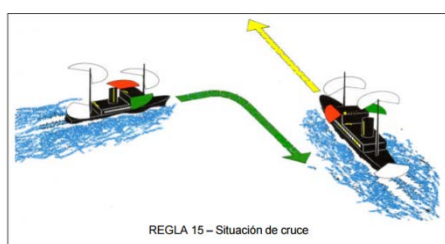
3.1.2.2. Luces de navegación.

Las luces de navegación marítimas son las que se instalan a bordo de cualquier tipo de embarcación con el fin de alertar a las demás naves en el área de su presencia, informar las capacidades de maniobra, dirección de avance y características especiales para que en función de una correcta identificación se faciliten las maniobras para evitar abordajes.

Las características de las luces de navegación, colores, arcos de visibilidad y posición relativa de la instalación, están establecidos por el Reglamento Internacional para Prevenir Abordajes (RIPA).

Su función no es la de iluminar sino la de ser vistos e identificar los tipos de embarcaciones y deducir su rumbo de navegación.

Los dos tipos de bombillas utilizados son de incandescencia cada vez en más desuso y de tipo LED, siendo este último el que más ha evolucionado en los últimos años.



Alcance luminosos (millas náuticas)	1	2	3	4	5	6
Intensidad luminosa (candelas)	0,9	4,3	12	27	52	94

Fig. 6 Ejemplos de luces de navegación y su intensidad luminosa mínima, fuente: [6] y [8]

3.1.2.3. Luces de cubierta y/o de trabajo.

Para poder trabajar, mover-se por cubierta, realizar maniobras durante la navegación y en puerto con seguridad son necesarias luces como las que encontramos en las ciudades y en la industria.

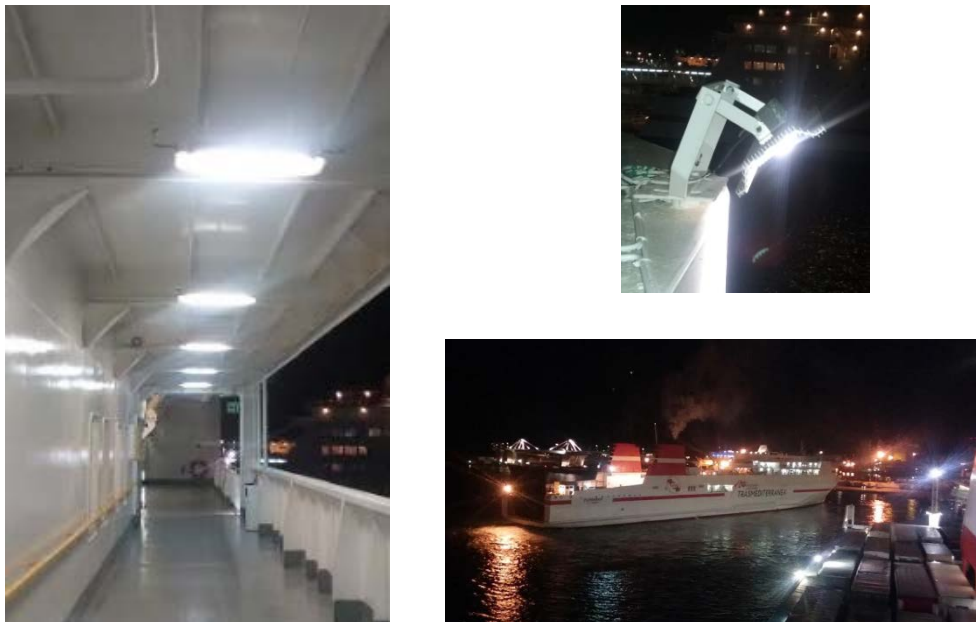


Fig. 7 Luces de trabajo y cubierta, fuente: autor.

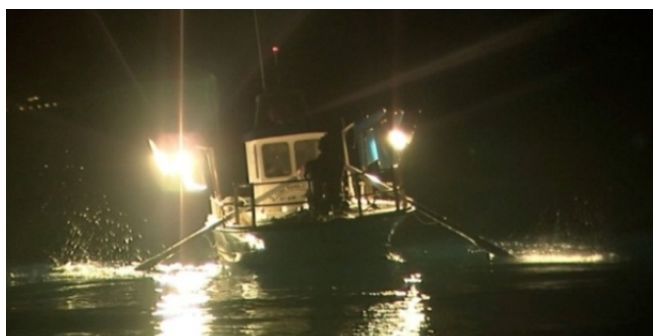
A modo de ejemplo en un buque RO-PAX de 199 m de eslora, 26,60 m de manga con capacidad para 869 pasajeros y 195 vehículos (camiones) se ha estimado que podemos encontrar en el exterior los siguientes puntos de luz:

ROPAX
199 metros eslora

	Puntos de luz	Potencia instalada (kW)	Lúmenes (lm)	Lúmenes Totales (klm)	Eficiencia (lm/W)	Flujo luminoso / metros eslora (klm/m)
Luces cubierta (Fluorescente 2x18W)	64	2,30	2.500	160,00	69,44	
Proyector (halógeno 500 W)	16	8,00	8.550	136,80	17,10	
Totales	80	10,30	11.050	296,80	28,80	1,49

Tabla 3 Estimación puntos de luz, potencia y flujo luminoso buque Ropax, fuente: elaboración propia

Uno de los aspectos que normalmente se consideran negativos de la CL, es el efecto perturbador que tiene sobre el comportamineto de muchas especies, en el caso de la pesca es justamente el principio que se utiliza para faenar y capturar las presas.


LÁMPARA PESCA
SKU:
130 mm. ø

Descripción del Producto

Deslice con el dedo lateralmente para ver la tabla completa.



Ø	W	V	Lm	L	⚡	📏	Cod.Art
130	500	27	9000	248	E40	12	675108

Fig. 8 Luces de trabajo en la pesca, fuente [10]

La potencia eléctrica de los focos e intensidad lumínica en las artes de cerco en el caladero mediterráneo viene regulada en el artículo 6 de la orden ARM/2529/2011, de 21 de septiembre, el número máximo de bombillas y portalámparas del bote auxiliar de cada buque cerquero será de 12, con una potencia eléctrica máxima de 500 W por bombilla, de modo que en ningún momento se exceda de una potencia eléctrica total de 6.000 W.

Antes del 1 de enero de 2013, todas las bombillas o lámparas incandescentes tradicionales con la potencia del párrafo anterior, serán sustituidas por sistemas de iluminación de bajo consumo, como las bombillas o lámparas de tipo LED u otras similares, cuya intensidad de luz, en total, nunca supere los **100.000 lúmenes**. (equivale a los lúmenes emitidos por 10 farolas típicas de alumbrado de 10.000 lm cada una)

Así como la prohibición de determinados usos en el artículo 7, como el punto 3. Al margen de los estrictamente necesarios para la seguridad de la tripulación y la realización de las maniobras a bordo, se prohíbe el uso y la instalación de focos en cubierta y en la superestructura de los buques cerqueros que puedan servir para la captación de cardúmenes de pescado. [11]

3.1.2.4. Instalaciones fijas de explotación industrial.

En el mar encontramos instalaciones de explotación industrial como son torres petrolíferas, parques eólicos, piscifactorías, las cuales requieren para su correcto funcionamiento de la utilización de luces de trabajo, luces de señalización aérea, luces de señalización marítima, luces para el helipuerto y en el caso de las torres petrolífera la propia llamarada provocada por la combustión del petróleo.



Fig. 9 Torre petrolífera Casa Blanca, Tarragona, fuente: [7]

3.1.2.5. Buques de Pasaje.

Los buques de pasaje son auténticas ciudades flotantes, de noche son auténticas fuentes de luz, debido a la gran cantidad de luces encendidas en las zonas de ocio, las zonas de paso, camarotes y por motivos de decoración. Muchas veces tal cantidad de luces imposibilita o dificulta identificar claramente las luces de navegación y por lo tanto deducir el

rumbo que lleva desde otras embarcaciones, pudiendose considerar otro efecto negativo de la CL para el navegante



Fig. 10 Buques de pasaje iluminados de noche, fuente [12]

A modo de ejemplo en un buque de crucero de pasajeros de 299 m de eslora, 35,5 m de manga con capacidad para 3.780 pasajeros y 1.110 tripulantes se ha estimado que podemos encontrar en el exterior los siguientes puntos de luz:

**Crucero Pasaje 290
metros eslora**

	Puntos de luz	Potencia instalada (kW)	Lúmenes (lm)	Lúmenes Total (klm)	Eficiencia (lm/W)	Flujo luminoso / metros eslora (klm/m)
Luces exterior camarotes (incandescencia 60 w)	1.200	72,00	806	967,20	13,43	
Luces cubierta (Fluorescente 2x18W)	180	6.48	2500	450.00	69,44	
Proyectores (halógenos 500 W)	71	35.50	8550	607.05	17,10	
Luces empavesado (led 7 W)	290	2.03	407	118.03	58,14	
Totales	1.741	116,01	12.263	2.142,28	18,47	7,39

Tabla 4 Estimación puntos de luz, potencia y flujo luminoso buque Pasaje, fuente: elaboración propia

3.1.3. Afectaciones de la Contaminación Lumínica.

A modo de resumen general y sin entrar en detalles, las principales afectaciones de la contaminación lumínica son:

- I. Afectaciones al navegante.
- II. Afectaciones sobre el entorno.
 - a. Sobre el cielo nocturno
 - b. Sobre el hábitat humano.
 - c. Sobre los espacios naturales
 - d. No visuales.
- III. Afectaciones socioeconómicas.
 - a. Sobre costes económicos directos e indirectos.
 - b. Sobre la vida ciudadana y comercial
 - c. Sobre el turismo natural

I. Afectaciones al navegante:

La principal afectación negativa de la CL es la pérdida y/o confusión en la identificación de las luces que identifican las entradas a los puertos, la imposibilidad de distinguir con claridad los buques fondeados y dificultar la deducción del sentido de navegación de las demás embarcaciones, produciendo en más de una ocasión situaciones de tensión, que podrían llegar a ser peligrosas.

Otra afectación negativa es la dificultad en identificar astros para deducir la posición de la embarcación a través de la navegación astronómica, aunque esta técnica está en desuso y únicamente se utiliza a modo pedagógico o en caso de emergencia.

Por el contrario el brillo difuso del cielo nocturno vislumbrado a gran distancia permite identificar ciudades, deducir nuestra situación y facilita conservar el rumbo de navegación.

II.a. Afectaciones sobre el cielo nocturno:

Vemos los astros por contraste, su brillo destaca, durante la noche, sobre la oscuridad celeste. La dispersión de la luz nocturna a la atmosfera induce en un aumento de la claridad del fondo celeste que supera el brillo de las estrellas de menor magnitud impidiendo su visión. A medida que la claridad del cielo nocturno aumenta, el número de estrellas visibles va disminuyendo, en algunas zonas llegan incluso a desaparecer.

Dificultando enormemente la observación astronómica profesional, amateur y cultural.

II.b. Afectaciones sobre el hábitat humano:

En la actualidad es habitual la incidencia de iluminación exterior al interior de los domicilios, siendo como mínimo una intrusión en la privacidad del ser humano. Aunque a veces puede ser beneficiosa, ya que no necesitamos encender nuestras propias luces para desplazarnos, otras nos impiden disfrutar de ciertos espacios de relax. (Meditar, descansar, escuchar música,...)

Por otra parte la intrusión de luz exterior en zonas como el dormitorio también nos puede afectar a la salud, estudios actuales de cronobiología demuestran como progresivamente, la alteración provocada por la luz sobre el ritmo biológico de las personas incide sobre su salud.

II.c. Afectaciones sobre los espacios naturales:

Desde hace 500 millones de años, la luz y su ritmo de alternancia con la oscuridad han estado prácticamente inalterados en el planeta tierra. Estas condiciones son las que han gobernado durante la evolución de la vida, y por consiguiente, la adaptación metabólica de los organismos.

La CL en espacios naturales genera un cambio en estas condiciones, delante las cuales el organismo ha de responder mediante una conducta que compense los efectos de esta alteración. En principio esta conducta puede implicar atracción o rechazo. En cualquier de los dos casos, impulsa un desplazamiento de la población y por tanto afecta a las condiciones de:

- **Alimentación.** No solo de la propia especie sino también de las relacionadas directamente en la cadena trófica, por ejemplo la alteración de los ciclos de ascenso y descenso del plancton marino, lo que afecta a la alimentación de las especies marinas
- **Reproducción.** Por ejemplo en el caso de las tortugas marinas, una pequeña luz hace que las crías se pierdan camino al mar y no lleguen a poder desarrollarse como adultas.
- **Relación depredador-presa.** Como es el caso de los búhos, que detectan a sus presas gracias a la radiación infrarroja de sus cuerpos y ocultos en la oscuridad cazan a sus presas.

Estos cambios en las condiciones afectan el equilibrio ecológico, más acusadamente en las especies de ciclo nocturno activo, que son la mayoría.

A medida que crecía la intrusión de la CL en espacios naturales se detectaron problemas de reducción de población y hasta la extinción de algunas especies. En un primer momento, los

problemas se detectaron en poblaciones de insectos, más tarde en aves migratorias que sufrían problemas de orientación, y paralelamente estas afectaciones fueron incrementando con el incremento de la CL en anfibios, mamíferos, en especies marinas y también en los vegetales.

II.d. Afectaciones no visuales:

La función visual es tan importante para los seres humanos que tendemos a considerar la luz únicamente en sus aspectos ópticos y nos olvidamos que es un importante activador de reacciones químicas.

Por ejemplo, los vegetales que tienen un metabolismo basado en la función clorofílica, activada por la luz, se ven afectados por la inhabitual iluminación nocturna, que los debilita y adelgaza.

Otro fenómeno del mismo tipo se produce en ciertos gases atmosféricos. Durante la noche, los radicales del NO_x contaminantes de la atmósfera se deshacen en ausencia de luz. Al no existir una ausencia total de luz, se estima que en las ciudades, la CL produce un efecto sinérgico con la contaminación atmosférica entre el 5 i 7%. Este aspecto es totalmente nuevo y actualmente es objeto de estudio.

III.a. Afectaciones sobre costes económicos directos e indirectos:

Costes directos. La luz dispersa, reflejada, etc. Que invade innecesariamente algunos espacios, consume una energía que ha sido generada y distribuida, y por tanto, presenta un coste económico que los contadores de la luz señalan y que se incluye en la factura.

Costes indirectos. Por ejemplo, encarecimiento de la implantación de observatorios astronómicos, curas necesarias por la afectación a la salud humana, de los recursos necesarios de la biodiversidad entre otros.

II.b. Afectaciones sobre la vida ciudadana y comercial:

La luz artificial, tiene funciones y efectos que pueden ser positivos en función del objetivo por el que se crean. Posibilitan el ocio y el consumo nocturno favoreciendo la actividad económica y empresarial. Por ejemplo, en grandes avenidas comerciales, efecto atracción como las luces de Navidad, etc.

III.c. Afectaciones sobre el turismo rural:

Hay iniciativas económicas rurales basadas en la ausencia o baja CL y por tanto pueden verse afectadas como son:

- Observación de aves nocturnas.
- Observación de estrellas.
- Reservas Starlight.

3.1.4. Forma de medir el resplandor luminoso.

El resplandor luminoso nocturno o contaminación lumínica es la luminosidad producida en el cielo nocturno por la difusión y reflexión de la luz en los gases, aerosoles y partículas en suspensión en la atmosfera, procedente, entre otros orígenes, de las instalaciones de alumbrado exterior, bien por emisión directa hacia el cielo o reflejada por las superficies iluminadas.

El brillo de fondo de cielo, que mide qué tan oscuro es éste, es hoy en día uno de los parámetros de calidad.

Las estrella son fuentes puntuales, cuando se habla de su brillo, se trata de captar toda la energía que se recibe de un astro puntual dentro del intervalo de longitudes de onda definido por el filtro con el que se trabaja.

Pero el fondo del cielo es una fuente extensa, por lo tanto cuanto mayor sea el trozo de cielo que se considere, mayor resultará la cantidad de energía captada. Por lo tanto, su brillo solo tiene sentido si se especifica por unidad de área medida sobre el cielo, o en términos físico por unidad de ángulo solido. En la comunidad astronómica se suelen encontrar estimaciones de brillo del fondo del cielo en magnitudes por segundo de arco cuadrado ($\text{mag}/\text{arcsec}^2$), o dicho de otro modo, que magnitud estelar correspondería al brillo emitido por un trocito de cielo de forma cuadrada y que midiera un segundo de arco de lado.

Se puede pasar de la unidad astronómica a la unidad utilizada en luminotecnia a través de la fórmula:

$$\text{valor} \left[\frac{\text{cd}}{\text{m}^2} \right] = 10,8 \cdot 10^4 \cdot 10^{(-0,4 \cdot \text{valor} [\frac{\text{mag}}{\text{Arc} \cdot \text{s}^2}])} \quad (1)$$

Para la medición del brillo del cielo nocturno se pueden utilizar distintos métodos.

El procedimiento más sencillo consiste en limitarse a la banda astronómica V empleando el ojo humano como detector. Se define una serie de zonas del firmamento, comprendidas dentro de asterismos fáciles de reconocer, por ejemplo en el seno de grandes cuadriláteros o triángulos delimitados por estrellas brillantes conocidas. Se pide a quien efectúa la medida que cuente el número de estrellas que llega a distinguir dentro de cada una de estas zonas. Como se trata de áreas bien delimitadas, se sabe de antemano que cada número de estrellas corresponde a un brillo límite determinado. Por lo tanto, la estimación fotométrica se sustituye por un simple recuento.

A este procedimiento se le conoce como el método basado en la **estimación visual de la magnitud límite**.

Este procedimiento impide o dificulta distinguir la distribución del resplandor difuso sobre la bóveda celeste y se limita a la banda visual, resulta solo parcialmente cuantitativo y depende mucho del observador, su experiencia y estado visual. Pero este sistema resulta muy adecuado como medio de difusión y concienciación sobre la contaminación lumínica, ya que se trata del único procedimiento que conduce de modo directo y simple a valorar el efecto final de hasta qué punto la CL está limitando la percepción directa y el disfrute del firmamento.

Por otro lado, algunas líneas de trabajo se han orientado al desarrollo de instrumentos simplificados que permitan la obtención de medidas masivas pero de carácter objetivo, reproducible y cuantitativo. Destacando el producto llamado **Sky Quality Meter**.

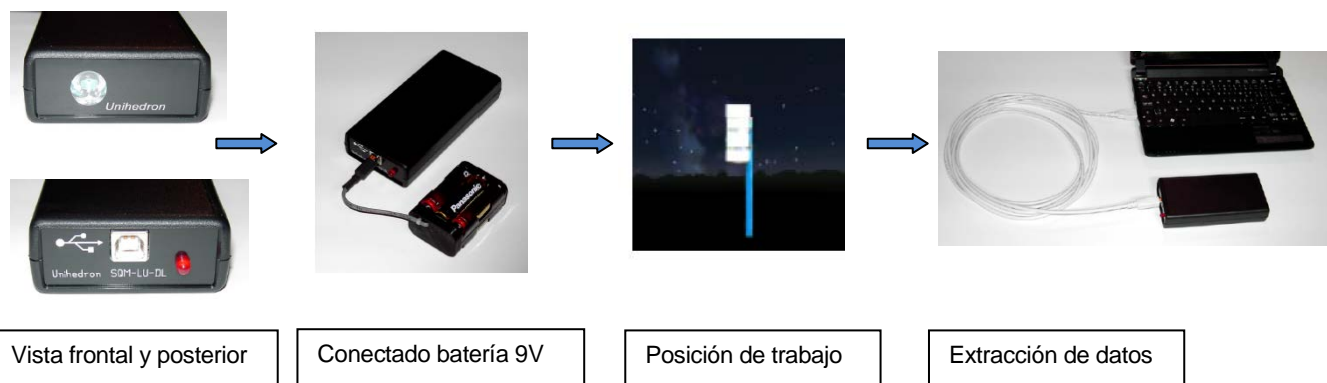
Se trata de un fotómetro muy sensible que mide el brillo del cielo en un ángulo concreto de la esfera celeste. Incorpora un filtro para radiaciones infra rojas, por lo tanto únicamente tiene en cuenta la radiación correspondiente al espectro visible. Su característica principal es que ofrece los datos de salida ya directamente en magnitudes por segundo de arco cuadrado (**MPSAS**). Algunos modelos como el –DL- funcionan de forma autónoma con una memoria interna que permite el almacenamiento de registros en su interior, con una frecuencia escogida por el operador.

Las ventajas de este tipo de aproximaciones al problema consisten en la portabilidad, la posibilidad de efectuar multitud de medidas en puntos dispersos por el territorio, y en que no hace falta ni un proceso experimental complejo ni conocimientos especiales para su empleo.

El dispositivo Sky Quality Meter se ha convertido en una herramienta utilizada de forma generalizada para la monitorización rápida y económica de CL, por su buenísima relación calidad precio y bondad de resultados.

Por este motivo para el presente proyecto se ha escogido este sistema para medir el brillo del cielo nocturno en aguas costeras de Barcelona, concretamente el modelo **SQM-LU-DL**.

Para el modelo en cuestión, el dispositivo se alimenta mediante una batería de 9 V y se coloca protegido de la intemperie mediante una caja estanca, se apunta al cenit y se almacenan las medidas en la memoria interior y posteriormente se traspasan al ordenador, las medidas pueden ser geo referenciadas con la ayuda de un GPS. El cono de medida es de 10º desde la vertical.



USB connection	USB B connector. 5m USB A to USB B cable supplied. USB FTDI VCP driver, serial port emulator at 115200baud.
Physical Size	5.5" x 2.6" x 1.1"
Meter weight	110g
Battery pack with batteries weight	160g
USB cable weight	140g
Meter precision	Each SQM-LU-DL is factory-calibrated. The absolute precision of each meter is believed to be $\pm 10\%$ ($\pm 0.10 \text{ mag/arcsec}^2$). The difference in zero-point between each calibrated meter is typically $\pm 10\%$ ($\pm 0.10 \text{ mag/arcsec}^2$).
Power requirement	18mA (from the 5V USB connection). Can be put to sleep and woken up for battery operated data logging. 3.42V minimum under battery operation. The included battery adaptor can handle up to 30VDC.
Operating temperature range	-40°C to 85°C
Temperature Accuracy	$\pm 2^\circ\text{C}$ maximum at 25°C
Temperature update rate	4.3 seconds, 256 samples taken at 60Hz then averaged.
Data logging capacity	1MB Flash chip, 32 bytes per record= 32768 records total. Newer firmware uses 16 bytes per record for 65536 records total. Extended memory version (special order): 1048576 records total. For actual memory capacity; see back label (no entry = 32768 records) or UDM datalogger page while connected to the meter.
Real Time Clock accuracy	+1.73s/day @25°C, -2.27s/day @50°C, per Citizen crystal CFS206-32.768KDZB-UB

Fig. 11 Esquema funcionamiento SQM y especificaciones técnicas, fuente: [10]

Las medidas obtenidas con el SQM se pueden comparar gráficamente con otras magnitudes.

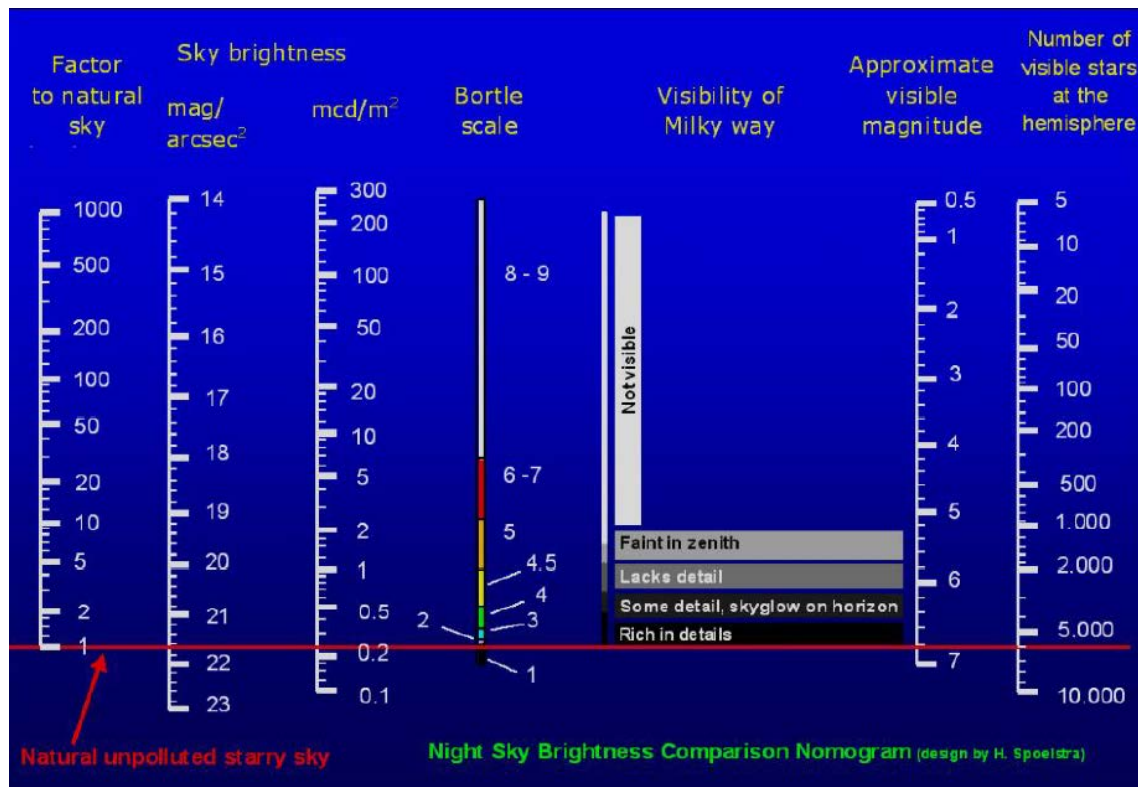


Fig. 12 Conversión gráfica de magnitudes cielo nocturno, fuente: [14]

El valor más bajo de la escala (16) se correspondería con cielos altamente contaminados lumínicamente y el valor más alto (22) con cielos ciertamente oscuros.

Sin embargo, vuelve a tratarse de un sistema sin resolución espacial suficiente y limitado a la banda visual.

También existen instrumentos automatizados que utilizan **sistemas de video fotométrico con tecnología CCD**.

El **ASTMON** “AllSkytransmission Monitor” se basa en un detector CCD (3,5x2,5Mpixels y 5,5 micras) con una rueda de filtros con 5 posiciones i un objetivo de ojo de pez que le proporciona un campo de visión de 180° en todas direcciones.

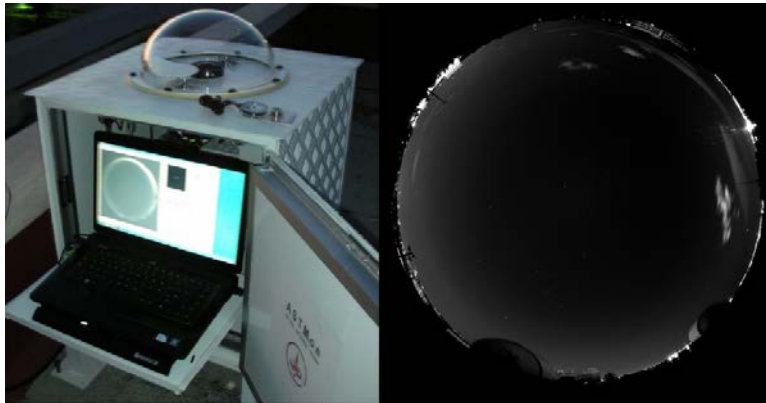


Fig. 13 Medidor ASTMON, fuente: [15]

Excalibur (Extinction Camera and Luminance Back ground Register) es un monitor de extinción atmosférica que permite hacer fotometría automatizada en 8 bandas (o filtros) lo que permite caracterizar la curva de extinción en todo el rango espectral abarcado, así como la determinar el brillo superficial del cielo, lo que lo hace especialmente indicado para medidas de contaminación lumínica.



Fig. 14 Sistema Excalibur, fuente: [16]

3.1.5. Clasificación Calidad del Cielo Nocturno.

La calidad del cielo nocturno según la dirección general de calidad ambiental de la Generalitat de Catalunya, se clasifica en:

Calificación	Medida [mag/arcsec ²]	Visibilidad Vía Láctea	Nº estrellas Observables	Color
Excelente	>21,40	potente	>5.000	
Muy buena	21,00 – 21,39	Si	3.000 – 5.000	
Buena	20,00 – 20,99	Si	1.000 – 3.000	
Moderada	19,00 – 19,99	A veces	500 – 1.000	
Baja	18,00 – 18,99	No	200 – 500	
Deficiente	17,50 – 17,99	No	50 – 200	
Muy deficiente	< 17,50	No	< 50	

Tabla 5 Calificación de la calidad del cielo nocturno en Catalunya, fuente: [2]

Otros parámetros utilizados para definir la calidad del cielo nocturno son los propuestos por la iniciativa Starlight.



Fig. 15 Parámetros calidad del cielo nocturno según la fundación Starlight, fuente: [17]

3.1.6. Clasificación de entornos naturales según su sensibilidad

En función de la vulnerabilidad del medio nocturno de la contaminación lumínica, el territorio de Catalunya se divide en cuatro zonas de protección: [2]

Zona E1: Con una **protección máxima** de la CL, son las áreas incluidas en el Plan de Espacios de Interés Natural; los espacios Red natura 2000; las playas y las costas no integradas en los núcleos de población o núcleos industriales consolidados, así como las áreas que el departamento competente en materia de medio ambiente apruebe con este nivel de protección a propuesta del ayuntamiento del término municipal donde se sitúe.

Zona E2: Con una **protección alta** de la CL, son las áreas el planteamiento urbanístico clasifica como suelo no urbanizable, fuera de las zonas E1, también las áreas que el departamento competente en materia de medio ambiente apruebe con este nivel de protección a propuesta del ayuntamiento del término municipal donde se sitúe.

Zona E3: Con una **protección moderada** de la CL son las áreas que el planteamiento urbanístico clasifica como suelo urbano o urbanizable, excepto las áreas que son zona E1, E2 o E4. También los espacios de uso intensivo durante la noche por la alta movilidad de personas o por su elevada actividad comercial o de ocio, situados en suelo no urbanizable, que los ayuntamientos propongan como tales y el departamento competente en materia de medio ambiente apruebe.

La iluminación en áreas de zona E3 próximas a puntos de referencia, zonas E1 o zona acuáticas marinas y continentales, han de ser especialmente respetuosas para evitar efectos perturbadores en el medio.

Zona E4: Con una **protección menor** de la CL, son de suelo urbano de uso intensivo durante la noche por la alta movilidad de personas o por su elevada actividad comercial o de ocio, que los ayuntamientos propongan como tales y el departamento competente en materia de medio ambiente apruebe. No se pueden clasificar como zona E4 los espacios que están a menos de 2 km de una zona E1.

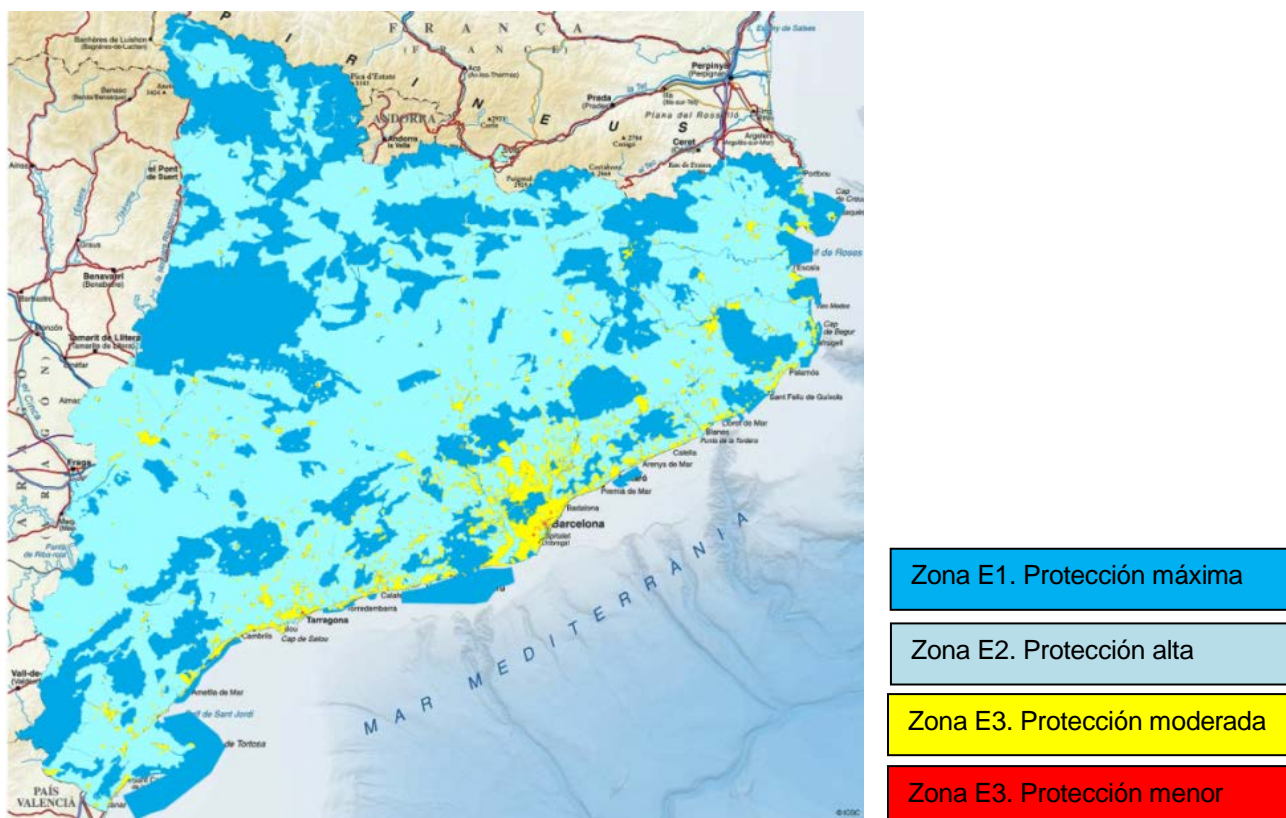


Fig. 16 Mapa de protección de la CL de Catalunya, fuente: [18]

	E1	E2	E3	E4
Illuminación Intrusa (lux)				
Anochece	2	5	10	25
Noche	1	2	5	10
Intensidad Lumínica (cd)	2.500	7.500	10.000	25.000

Tabla 6 Valores máximos de iluminación intrusa en Catalunya, fuente: [2]

3.2. Caso particular de aplicación: la embarcación.

Para la medición de la calidad del cielo celeste con el dispositivo SQM la casa Unihedron tiene disponible en el mercado una carcasa de protección para la intemperie perfectamente adaptada al sensor SQM-LU-DL.

Principalmente su utilización consiste en hacer solidaria la carcasa mediante unas bridas a un poste situado sobre una superficie estática y de esta manera el dispositivo siempre apunta hacia el cielo. La verticalidad del dispositivo dependerá de la inclinación del poste y siempre se mantendrá constante respecto a él, ya que no interactúan fuerzas externas que lo puedan desequilibrar.

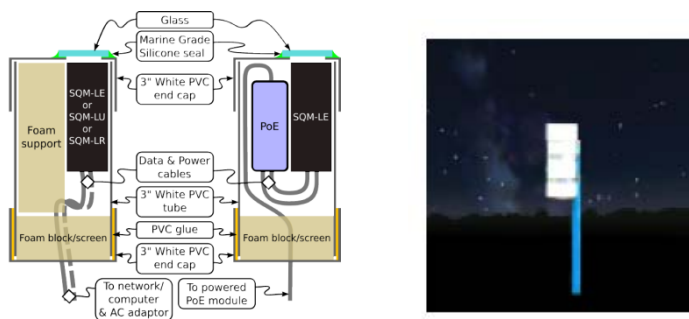


Fig. 17 Montaje estándar del SQM, fuente: [13]

Pero en nuestro caso, al querer hacer las mediciones a bordo de una embarcación, no podemos utilizar el mismo sistema y hacer firme el sensor a un elemento fijo perpendicular a la cubierta debido a que los movimientos que sufre la embarcación provocan inclinaciones en la cubierta y por consiguiente el sensor dejaría de mantener la verticalidad y dejaría de apuntar al zenit, afectando a las lecturas del mismo.

Por este motivo es necesario diseñar un accesorio que permita anular y/o atenuar los movimientos de inclinación de la cubierta respecto a la vertical.

En el siguiente punto se describe brevemente los movimientos generales de una embarcación.

3.2.1. Movimientos de las embarcaciones.

Una embarcación entre olas se asemeja a una viga flotante en la que actúan un conjunto de fuerzas complejas variables en el tiempo.

El movimiento de la embarcación es una característica que influye negativamente en diversos parámetros del mismo, provocando, entre otros efectos, disminución de la estabilidad e incremento de los esfuerzos sobre el casco. Movimientos de amplitudes excesivas pueden llegar a ser peligrosos. Hacer volcar la embarcación.

El empuje del agua actúa perpendicularmente a la superficie libre según la vertical cuando la mar está en calma o variando constantemente cuando la superficie es una ola trocoidal. Un buque recibirá, en el primer caso, un empuje constante, mientras que en el segundo, éste variará continuamente tanto en intensidad como en dirección.

Dado que las dos condiciones de equilibrio de un buque son desplazamiento igual a empuje y centro de carena y centro de gravedad en la misma vertical, éstas se verán modificadas con el movimiento debido a las olas, ya que tanto la fuerza del desplazamiento como la del empuje quedan sujetas a variaciones. También el centro de carena se moverá continuamente, afectando a la segunda condición de equilibrio.

Los movimientos del buque están de acuerdo con sus 6 grados de libertad, 3 de traslación y 3 de rotación.

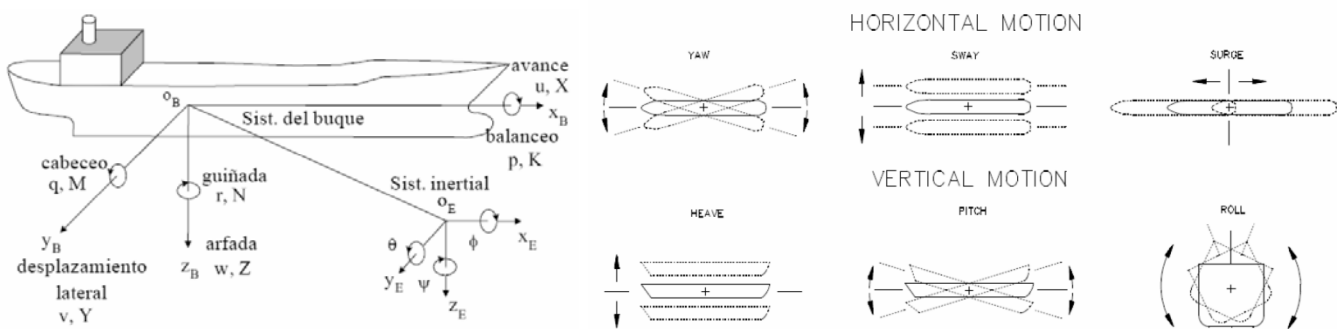


Fig. 18 Grados de libertad y movimientos de una embarcación, fuente: [19]

Los 3 movimientos de traslación a lo largo de los ejes X (longitudinal), Y (transversal) y Z (vertical) son: avance, desplazamiento lateral y arfada.

Los 3 movimientos de rotación son: el de balance alrededor del eje longitudinal X, el de cabeceo con respecto al eje transversal Y, y el de guiñada alrededor del eje vertical Z.

Los movimientos de traslación transversal y longitudinal y el movimiento de guiñada, no crean ningún momento ya que el buque para estos modos de oscilación está en equilibrio indiferente. Para los otros movimientos, de traslación vertical y de rotación, balance y cabeceo, se genera un momento resistente debido a las propiedades de estabilidad del buque provocando unos movimientos oscilatorios.

La estabilidad de una embarcación, es la propiedad que tiene de recuperar su posición de equilibrio cuando la pierde por alguna causa.

- Estabilidad Estática: agua en reposo
 - Transversal: GM.
 - Longitudinal: GM_L es muy grande y no da problemas.
- Estabilidad Dinámica: afectación del viento y de las olas.
- Inicial: para inclinaciones: $< 10^\circ$.
- Para grandes inclinaciones: $> 10^\circ$

Bajo los efectos del oleaje y del viento, una embarcación se ve desviada de su posición de equilibrio adrizado, siendo sometido a un movimiento oscilatorio que por rozamiento se va debilitando, tendiendo a su posición de equilibrio inicial. Se puede asimilar a un movimiento oscilatorio uniforme amortiguado.

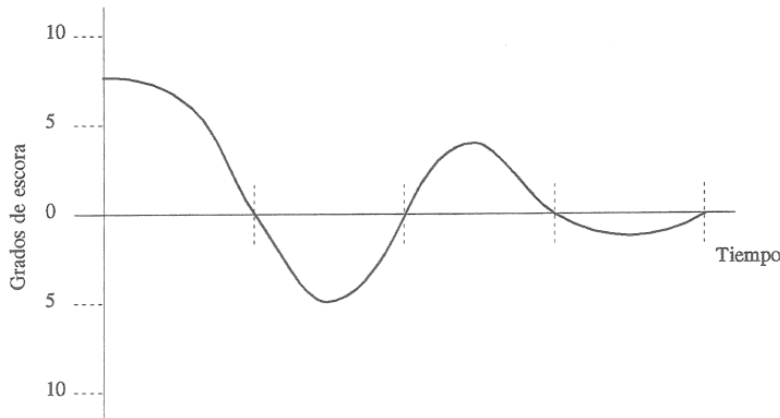


Fig. 19 Amortiguación del balance, fuente: [20]

- **Oscilación simple:** movimiento o trayectoria del buque de una banda extrema hasta la opuesta extrema, de babor a estribor, por ejemplo.
- **Oscilación doble:** movimiento o giro del buque de ida y vuelta a una misma banda, hasta hallarse en la misma posición. Ejemplo: babor-estribor y regreso otra vez a babor.

- **Amplitud del balance** o amplitud de la oscilación: el ángulo girado por el plano diametral en una oscilación simple.
- **Período simple:** es el tiempo o número de segundos invertido en una oscilación simple.
- **Período doble:** número de segundos, invertido por el buque en dar una oscilación completa.
- **Eje tranquilo:** es el eje longitudinal alrededor del cual el buque verifica sus oscilaciones.

Todos los buques, de acuerdo con su tipo, dimensiones y condiciones de carga, tienen un periodo natural de balance y de cabeceo bien definidos, que son independientes de las amplitudes de esos movimientos.

Se puede calcular el doble periodo de un buque en función de su manga. [20]

$$T = \frac{0.77B}{\sqrt{G_oM}} \quad (2)$$

Siendo B la manga de la nave en metros y G_oM la distancia metacéntrica en metros (corregida por superficies libres).

El factor 0,77 es aproximado y variará según el tipo de barco.

La rapidez de las oscilaciones son las que notan las personas embarcadas causando mareos a los pasajeros o incomodidad de trabajo a las tripulaciones. Así como causar daños a la carga estibada.

Los efectos del oleaje sobre buques típicos tienden a aumentar a medida que aumenta la altura de ola y a disminuir a medida que aumenta la eslora del buque. La respuesta máxima se produce cuando se presentan longitudes de onda iguales o casi iguales a la eslora del buque.

Si cualquiera de estos periodos naturales de la embarcación, periodo de balanceo o periodo de cabeceo coincide con los periodos del oleaje pueden producirse fenómenos de resonancia y sincronismo que aumentarán considerablemente los movimientos oscilatorios del buque.

No obstante, si el buque está en movimiento habrá que tomar en consideración que el periodo de las olas a considerar será el denominado periodo de encuentro periodo aparente o relativo, que es el intervalo entre el paso de dos crestas sucesivas por un mismo punto del

buque y que depende por tanto no solo del periodo propio del oleaje, sino también de la velocidad del buque y del ángulo que este forme con la dirección del oleaje. Esta consideración permite que un buque en movimiento pueda modificar sus condiciones de respuesta frente al oleaje, variando su rumbo, su velocidad o ambos.

Los buques mayores, que se caracterizan por tener un periodo de balance muy grande, rara vez encuentran olas que les impriman balanceos excesivos, pues sus periodos son generalmente superiores al de las olas.

Los buques ligeros y de pequeño periodo de balance se comportan bastante bien en temporales y tienden por eso a mantener su cubierta paralela a las pendientes de las olas. Estos buques de periodos de balance cortos tiene la desventaja de balancear mucho aun con relativo buen tiempo, porque el movimiento normal del mar tiene un periodo que puede ser muy parecido al de ellos.

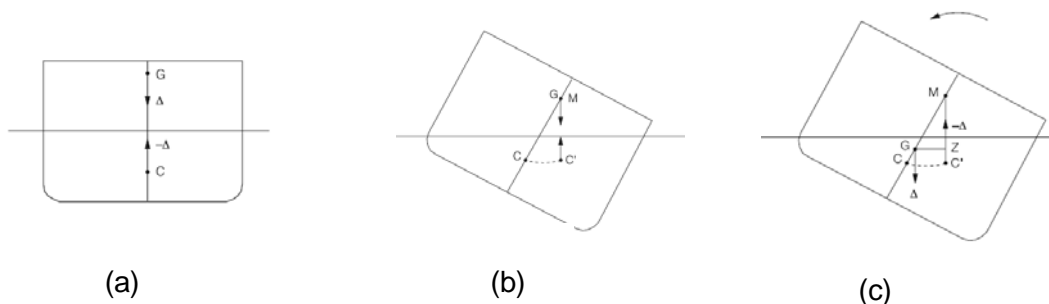
Los buques de periodos medios requieren especial atención porque con frecuencia se presenta en ellos el sincronismo.

En el presente proyecto los movimientos que pueden afectar más significativamente a nuestras lecturas por ser los que mayor incidencia tienen sobre la inclinación de la cubierta son los de balance y cabeceo.

3.2.1.1. Balance. Inclinación Transversal.

La inclinación transversal es el resultado de la respuesta de la estabilidad transversal a las fuerzas externas que quieren modificar la posición de equilibrio del buque. Ya sea por la configuración propia de los pesos de la embarcación, corrimiento brusco de la carga, efecto del viento y/o del oleaje.

Nos podemos encontrar:



- Inclinación transversal = 0° , equilibrio estable inicial, normalmente en aguas tranquilas y con cargas equilibradas.
- Inclinación transversal constante $\neq 0^\circ$, equilibrio indiferente, el par escorante es igual al par de adrizamiento

- c) Inclinación transversal oscilante, equilibrio inestable, el par escorante es distinto en el tiempo al par de adrizamiento y se produce movimiento.

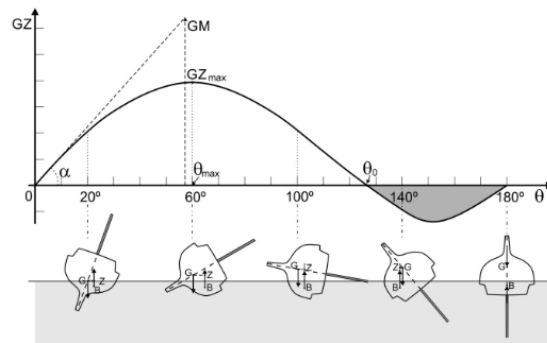


Fig. 20 Ejemplos ángulos de escora, fuente: [21]

Aunque un velero puede estar diseñado por temas de seguridad para tener un ángulo límite de estabilidad superior a 120° de escora transversal y el momento adrizante máximo está sobre los 60° de escora, normalmente las embarcaciones navegan con ángulos de escora de 15° a 35° por un tema de confort, rendimiento y seguridad.

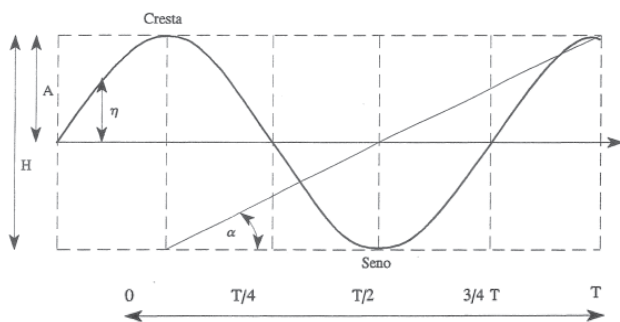
3.2.1.2. Cabeceo. Inclinación Longitudinal.

La estabilidad estática longitudinal es la propiedad del buque de recuperar su posición de equilibrio longitudinal, al ser apartado de él por alguna acción. Al ser la eslora la dimensión predominante, la estabilidad estática longitudinal de un buque es muy grande; se está siempre dentro de la estabilidad inicial ($<10^\circ$).

Como en el caso longitudinal nos encontramos con inclinaciones constantes y con inclinaciones que varían con el tiempo que debido a la diferencia de dimensiones entre manga y eslora son mucho menos severas.

3.2.1.3. Características de las olas.

En el entorno del buque, una de las maneras más simple y usual de describir el perfil de las olas de la superficie libre de la mar es mediante la ola trocoidal bidimensional, es decir, uniforme y no limitada en el espacio.



$$\tan \alpha = \frac{H}{L} \quad (3)$$

$$\tan \alpha_{L/2} = \frac{H}{L/2} \quad (4)$$

$$V = \sqrt{\frac{gL}{2\pi}} = 2.43\sqrt{L} \text{ (nudos)} \quad (5)$$

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} = 1.56T \quad (6)$$

(3) La pendiente α es la relación entre la altura y la longitud.

(4) También se puede hallar la pendiente que hay entre una cresta y un seno, dividiendo la altura por la mitad de la longitud de la ola.

(5) Velocidad de propagación.

(6) La relación entre la longitud de las olas y su periodo.

Fig. 21 Ecuaciones y características de las olas, fuente [20]

3.2.2. Estabilizadores de movimiento.

A lo largo de la historia de la navegación se ha intentado reducir los movimientos de cabeceo y escora de las embarcaciones, es decir reducir las amplitudes de los balance y/o aumentar el tiempo en que éstos ocurren para que no ocurran grandes aceleraciones, para facilitar la comodidad del pasaje, intentando evitar, el fatídico mareo, así como contribuir a la seguridad del buque. Estudios indican que aceleraciones de 1 m/s^2 pueden provocar mareo al pasaje y aceleraciones de 2 m/s^2 pueden provocar incomodidades a la tripulación. [22]

Para amortiguar los movimientos oscilatorios que se experimentan a bordo tenemos 3 posibilidades.

1. Navegar en condiciones nulas de viento y oleaje (difícilmente se cumplen).
2. Estabilizar la propia embarcación mediante sistema activos y/o pasivos.
3. Estabilizar el propio instrumento mediante sistemas activos y/o pasivos.

Siendo los sistemas activos los que necesitan aportación de energía exterior.

La opción de estabilizar la propia embarcación son soluciones caras y requieren de modificaciones del propio diseño de la embarcación.

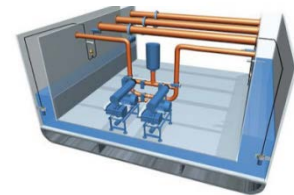
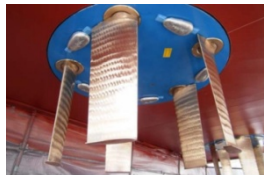
Los sistemas que se ha considerado interesante mencionar de forma general son:

1-Distribución de pesos y tanques de lastre



2-Quilla de balance

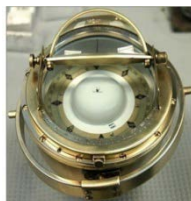
3- Aletas



4- Giróscopos

5- Sistema Voith Schneider

6- Tanques estabilizadores de balance



7- Cardan

8- Estabilizador cámara pasivo

9- Electronic gimbal

Fig. 22 Sistemas estabilizadores de movimiento, fuente: [23] y [24]

1. Distribución de Peso y Tanques de Lastre:

Se basa en la estiba de la carga, especialmente cuando se trata de la mitad o un poco menos de la plena carga. Consiste en distribuir la carga en los lados de las cubiertas superiores. De este modo, el peso de la carga se aplica como una fuerza que funciona como contrapeso.

Los tanques de lastres es un método similar al sistema de distribución de la carga, pero se obtiene por tanques construidos en el interior del casco y se llenan con agua. Estos tanques pueden extenderse a lo largo de toda la eslora del casco. La desventaja es el efecto de las superficies libres que reducen las propiedades de estabilidad del buque.

2. Quillas de balance:

Son quillas situadas en el pantoque, colocadas en la mitad del buque en babor y estribor. Se emplean en una longitud del 25 al 40% de la eslora y su ancho es entre 30 a 60 cm. Debido a que pueden incrementar hasta un 5% la resistencia al avance, es preferible construirla con los contornos finos y con ángulos de entrada y salida de 25 a 30°.

3. Aletas:

Se basa en el empuje hidrodinámico generado por uno o más par de “alas” que sobresalen del casco bajo el nivel del mar. Las alas funcionan de manera similar a las alas de un avión, pero su inclinación es ordenada por un sensor que detecta los balances del buque.

La eficacia de las alas es proporcional a su superficie y a la velocidad del buque. En la actualidad es uno de los sistemas más utilizados debido a su gran capacidad de estabilización, fiabilidad y coste. Se utiliza fundamentalmente en cruceros y buques de pasaje.

4. Giróscopos:

Constan de una esfera de aluminio sellada al vacío que contiene un volante o masa de alrededor de 300 Kg que gira a 10.000 rpm produciendo un gran momento angular que controlado por un cilindro hidráulico, manejado por un ordenador permite eliminar o reducir ampliamente los balances. Se basa en los principios físicos del giróscopo, un giróscopo en movimiento posee un movimiento angular y este se reacciona para conservar este movimiento si se le somete a una fuerza externa. Esta facultad a reaccionar se denomina precesión.

5. Sistema Voith Schneider:

Es uno de los sistemas más innovadores de la propulsión naval actual, que incorpora en un solo equipo: propulsión, gobierno y estabilizador de balance. Puede generarse empuje en cualquier dirección y de cualquier magnitud en forma rápida, precisa y sin escalonamientos, lo que proporciona una serie de ventajas operacionales, sobre todo en aguas limitadas y de tráfico intenso.

Consiste en un rotor que gira sobre el eje vertical fijado al casco aproximadamente en su punto giratorio, está previsto de 4 palas que pivotan sobre ejes verticales controlados desde el puente. Al modificarse el paso de las palas y su excentricidad se consigue que la fuerza de empuje resultante actúe en cualquier dirección que se desee.

6. Tanques estabilizadores de balance:

Utiliza un flujo de líquido controlado dentro de un tanque especialmente diseñado, lleno con agua de lastre, para crear un momento estabilizante oponiéndose al movimiento de la ola que causa los balances del buque.

7. Suspensión Cardán:

En la navegación marítima, para poder desacoplar el movimiento del barco, es frecuente suspender el compás de un mecanismo con dos grados de libertad de rotación.

Los compases montados sobre una suspensión cardan se mantienen horizontales, siempre y cuando su centro de gravedad quede por debajo de los aros que conforman la suspensión.

La suspensión Cardán es un mecanismo de suspensión consistente en dos aros concéntricos cuyos ejes forman un ángulo recto, lo cual permite mantener la orientación de un eje de rotación en el espacio aunque su soporte se mueva.

8. Estabilizadores de cámara pasivos:

En el mercado existen muchas marcas y modelos de estabilizadores de cámara, normalmente conocidos como steadycam, glidecam, flycam entre otros. Principalmente consisten en un sistema de suspensión (2 grados de libertad) y brazo recto con soporte para la cámara y sistema de contrapeso. Lo que permite estabilizar la grabación de movimientos externos.

9. Estabilizadores de cámara activos “Electronic Gimbal”:

Un gimbal es una plataforma motorizada con motores brushless y controlada mediante una placa con sensores varios, generalmente acelerómetros y compás magnético que se encarga mediante el uso de algoritmos de control de mantener un objeto, normalmente una cámara estabilizada, de modo que independientemente del movimiento que realice el portador de la misma, está quede estable.

Los gimbals más comunes son los de 2 ejes, aunque existen de 3 ejes.

El coste de esta tecnología ha sufrido un abaratamiento y miniaturización muy importantes.

4. DISEÑO SOPORTE MARÍTIMO SQM.

Tal como se ha indicado en el punto 3.2, es necesario diseñar un producto que permita utilizar el sensor SQM-LU-DL a bordo de las embarcaciones.

Para el diseño de la solución se ha tenido en cuenta el siguiente proceso iterativo:

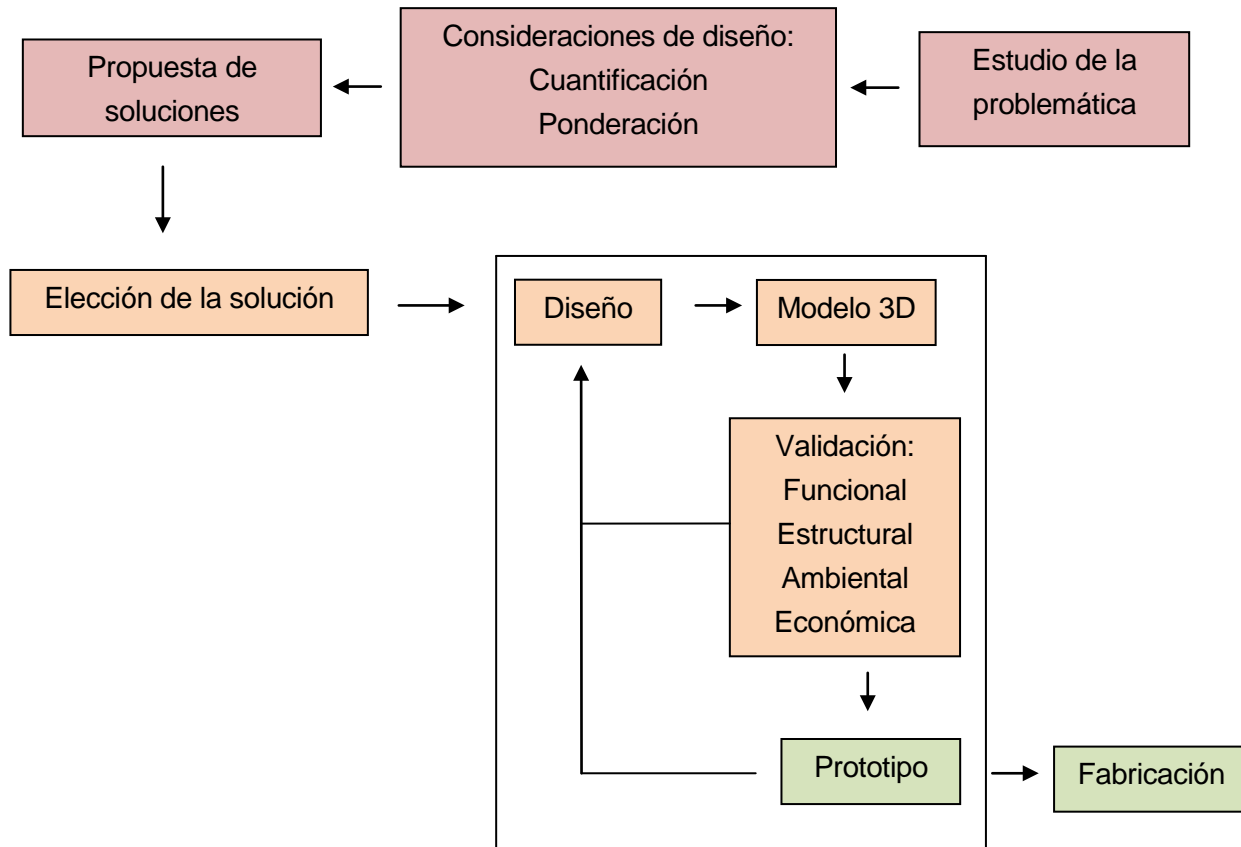


Fig. 23 Proceso de diseño

Para ello se ha utilizado el programa de diseño asistido por ordenador Solid Works y su paquete de análisis de elementos finitos Solid Works Simulation.

4.1. Consideraciones de Diseño.

Después de estudiar la problemática, para encontrar una solución al problema, se han definido las siguientes consideraciones previas de diseño de las que se han numerado y cuantificado su valor y se ha ponderado el nivel de su importancia.

Consideraciones de diseño		Importancia*	Valor
Ambientales:			
1	Intensidad del viento.	4	2,7 m/s
2	Protección contra la entrada de polvo y agua	5	IP67
3	Estado del mar. Altura de las olas.	4	0.5 m
4	Intervalo de temperaturas	4	de -5 a 45 °C
5	Humedad relativa máxima del aire	4	100%
6	Ambiente marino. Humedad y salitre.	5	
Eco-diseño:			
7	Minimizar el consumo de materias primas	3	
8	Utilización de materiales reciclados	4	10% de la masa
9	Producto reciclable al final de su vida útil	5	75% de la masa
10	Numero de materiales por componente	3	1
11	Desensamblaje por el usuario para su reciclado	4	75% de la masa
12	Vida útil	4	5 años
13	Reutilización de componentes por el usuario	3	
14	Priorizar elección de materiales y procesos con eco indicadores inferiores	4	
Económicas:			
15	PVP inferior a	4	150 €
16	Precio materia prima inferior a	3	10€/kg
17	Utilización de componentes con dimensiones estandarizadas existentes en el mercado	3	
Dimensionales:			
18	Espacio para instalación del Sensor SQM	5	20,5x67,5x145 mm
19	Espacio para instalar el Kit de baterías sensor	5	31x45,5x70mm
20	Espacio para instalar sensores auxiliares	4	50x50x50mm
21	Dimensiones totales máximas del producto para manipulación individual	5	600x600x600mm
Solicitaciones:			
22	Soportar el peso del sensor SQM	5	0,11 kg
23	Soportar el peso del kit de baterías sensor (baterías incluidas)	5	0,16kg
24	Soportar el peso de los sensores auxiliares	5	0,15kg
25	Resistente a caídas en altura.	3	0,5 m

Funcionales y de trabajo:			
26	No obstruir la visual de la proyección vertical del cono de lecturas de la lente del sensor SQM.	5	20° de abertura
27	Mantener la verticalidad del cono de lente del sensor apuntando al zenit.	5	$\pm 5^\circ$
28	Trabajar con inclinaciones estáticas longitudinales	5	$\pm 10^\circ$
29	Trabajar con inclinaciones estáticas transversales	5	$\pm 30^\circ$
30	Trabajar con oscilaciones longitudinales (cabeceos)	5	$\pm 20^\circ$
31	Trabajar con oscilaciones transversales (balanceos)	5	$\pm 45^\circ$
32	Minimizar el efecto de los movimientos bruscos de la embarcación	3	
33	Tiempo de instalación y extracción del SQM y su kit de baterías inferior a	3	60 s
Instalación, montaje y mantenimiento:			
34	Instalación a bordo de embarcaciones de recreo y buques mercantes. Eslora mínima.	3	6 m
35	Tiempo de instalación y desinstalación inferior a	2	15 minutos
36	Tiempo de ensamblaje y desensamblaje por parte del usuario inferior a	2	15 minutos
37	Reducido mantenimiento. Intervalo de revisión de componentes	3	1 vez al año

*Nivel Importancia: 1- muy baja, 2- baja, 3- normal, 4- alta, 5- muy alta.

Tabla 7 Consideraciones de diseño

4.2. Descripción y justificación de la solución.

Para garantizar que el sensor siempre este apuntado al zenit independientemente de las inclinaciones transversales y longitudinales de la embarcación, se ha buscado que el sistema siempre quiera estar en su posición de equilibrio estable, siendo este cuando el centro de gravedad está en su posición más baja y sobre la vertical ($\Theta=0^\circ$) y que cuando cualquier perturbación externa sea capaz de mover la carcasa del accesorio de su posición de equilibrio inicial, un ángulo Θ respecto la vertical este reaccione gracias a la fuerza de la gravedad, rozamiento y fricción con el aire devolviéndolo a su posición original ($\Theta=0^\circ$) pasado unos instantes. Como sucede con el **péndulo físico** amortiguado.

Para ello se ha dotado al mecanismo de dos grados de libertad, concretamente dos ejes de rotación perpendiculares entre sí, que permiten al mecanismo bascular en las direcciones proa-popa y estribor-babor, es decir, permite la libre basculación respecto el eje longitudinal y el eje transversal de la embarcación, basado en el **sistema cardan** que encontramos en los soportes de los compases de bitácora de los buques.

Para asegurar el correcto funcionamiento del accesorio se han colocado los dos ejes perpendiculares de rotación en el mismo plano vertical y se ha centrado el centro de masas del conjunto en el eje vertical situándolo por debajo de los centros de rotación, de esta manera por efecto de la gravedad y gracias a bajos coeficientes de fricción entre los ejes y sus soportes, el sistema siempre tiende a buscar la posición de equilibrio, la posición más baja de su centro de gravedad, la cual coincide con la verticalidad del sensor.

Un péndulo físico es cualquier sólido rígido capaz de oscilar en torno a un eje horizontal.

Normalmente el soporte del eje del péndulo esta fijo en el espacio y no se mueve, en nuestro caso el soporte del eje es solidario a los movimientos de oscilación de la embarcación, por lo tanto el accesorio actuará como **una plomada** y será el soporte el que basculara alrededor de la carcasa. Cuando la embarcación se incline transversalmente, basculara libremente el soporte fijo respecto al aro de sujeción y en inclinaciones longitudinales el soporte fijo conjuntamente con el aro de sujeción basculará libremente respecto a la carcasa principal. Como se puede ver en la figura 26.

Esto ocurrirá mientras las inclinaciones sean constantes en el tiempo y/o cuando los balances y cabeceos sean suaves (aceleraciones longitudinales y transversales bajas), es decir, las condiciones normales de navegación.

En cambio el accesorio empezara a bascular como un péndulo físico cuando alguna perturbación violenta como el impacto contra las olas provoque cambios bruscos de aceleración y lo desplacen de la vertical.

A continuación podemos ver el producto montado con sus componentes.

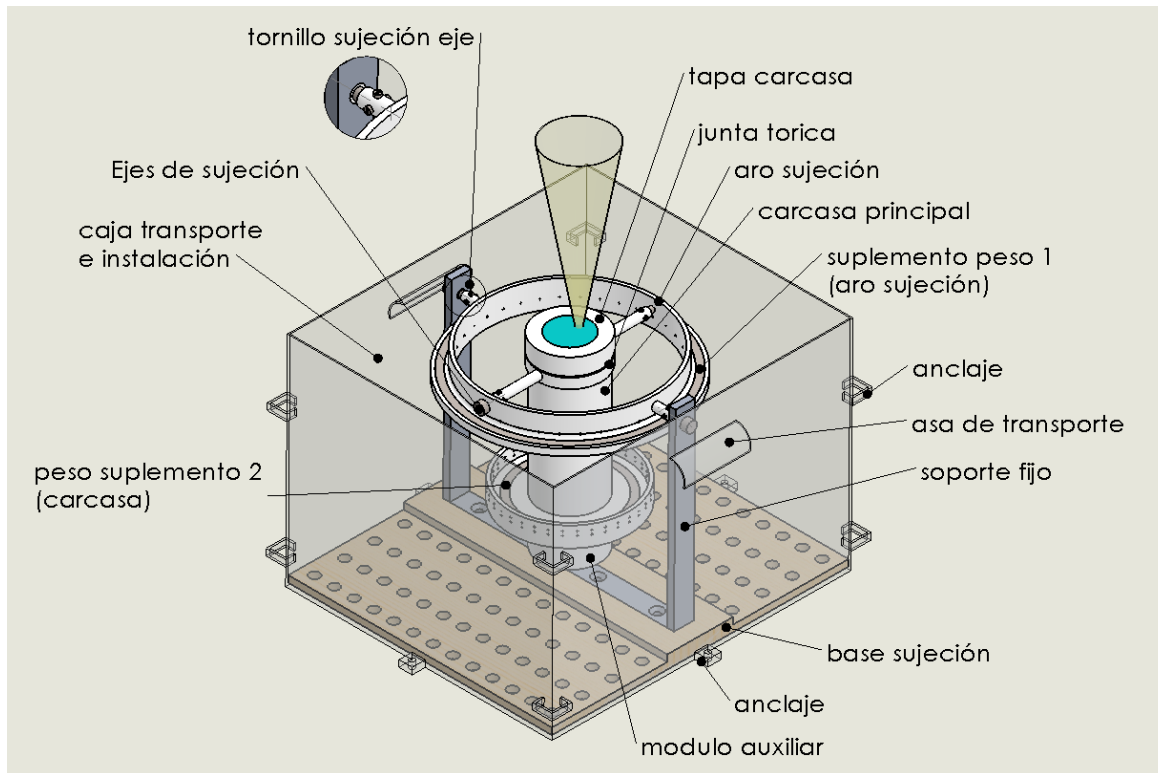


Fig. 24 Representación gráfica de la solución y sus componentes

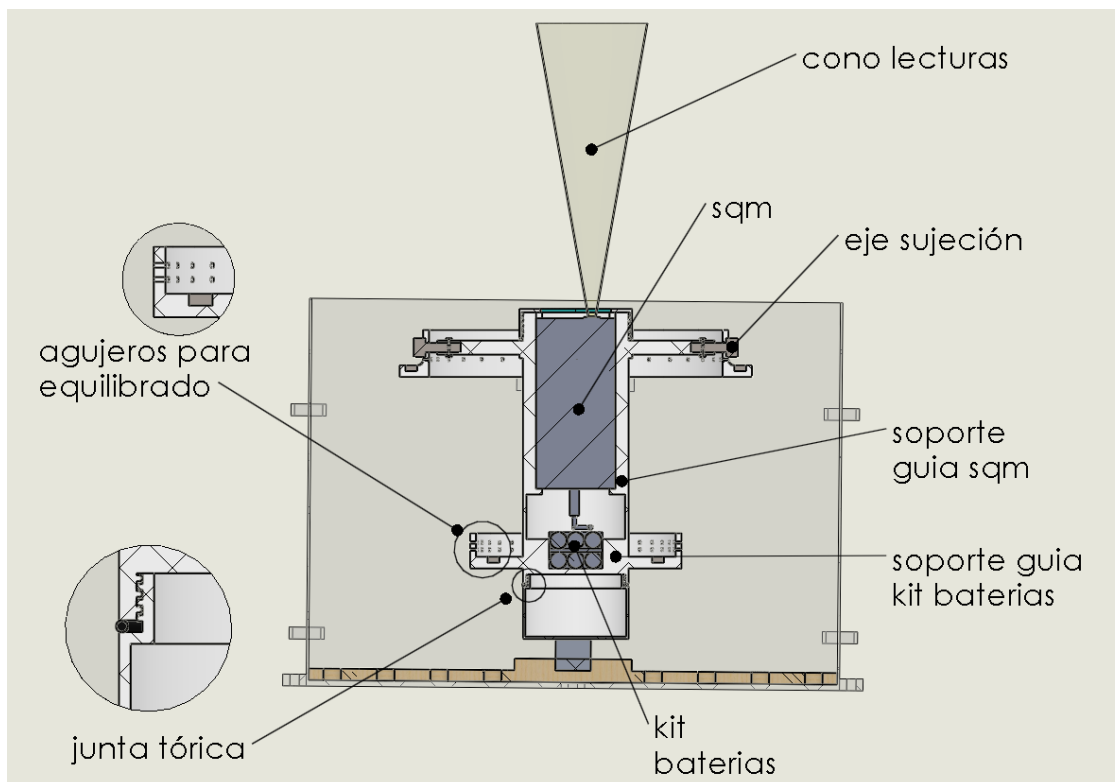


Fig. 25 Sección de la solución y sus componentes

Las dimensiones y ubicación de los elementos garantizan hacer frente a inclinaciones transversales de 50° e inclinaciones longitudinales de 25° que pueda sufrir la embarcación. Más que suficiente para la mayor tipología de embarcaciones y condiciones de navegación. Inclinaciones superiores pueden implicar que se estará navegando en condiciones de mar y viento muy adversas para la embarcación y /o la tripulación.

Garantizando la verticalidad del cono de lecturas.

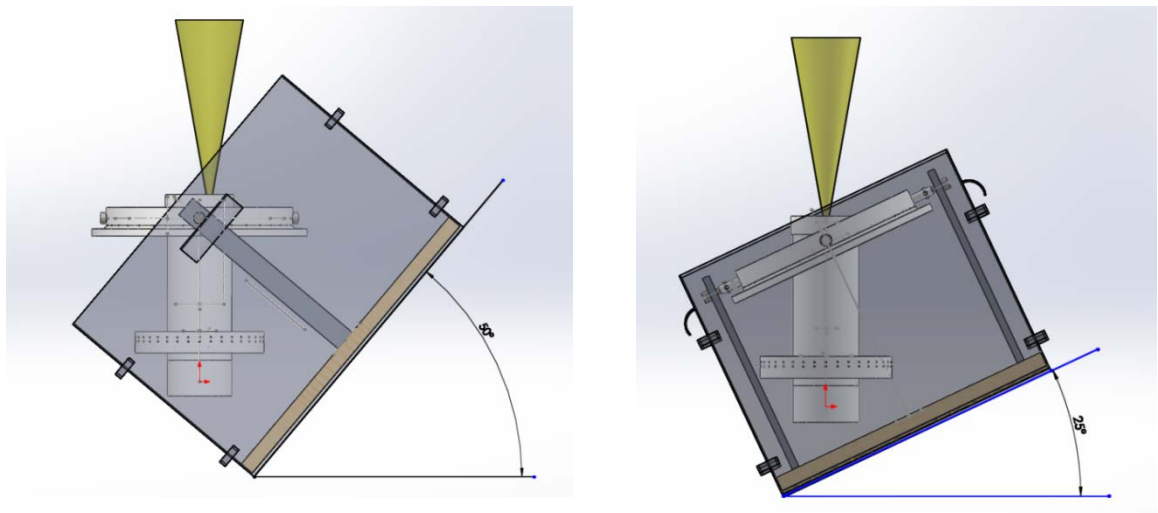


Fig. 26 Inclinaciones de trabajo máximas, 50° eje transversal y 25° eje longitudinal

El accesorio está formado por elementos con simetrías circulares para centrar los centros de masas en el mismo eje vertical.

Gracias a unas guías de instalación dentro de la carcasa principal, el sensor SQM y el kit de baterías están centrados y fijados en el interior, de esta manera aparte de centrar su masa se impide el movimiento relativo dentro de la carcasa.

Al disponer de un módulo auxiliar que se puede situar debajo de la carcasa principal se pueden instalar sensores como acelerómetros, GPS, entre otros y completar estudios auxiliares. Como por ejemplo tomar los instantes que la carcasa esta fuera de la vertical para posteriormente poder anular las medidas obtenidas por el SQM en esos instantes.

Gracias a los orificios de 2 mm \varnothing situado en la periferia de la carcasa y el aro de sujeción es posible añadir pequeños pesos auxiliares para acabar de equilibrar el sistema, en caso de que el usuario añada sensores y componentes auxiliares.

Se consigue la estanqueidad IP67 para la carcasa principal y el modulo auxiliar mediante la utilización de juntas tóricas, protegiéndolo de la entrada de polvo y de agua en su interior.

La caja es de plástico transparente para poder ir comprobando visualmente si la carcasa abandona la verticalidad y el sistema funciona correctamente. Al mismo tiempo le ofrece total protección a la carcasa contra los cambios de intensidad del viento.

Para evitar la electrolisis entre el aluminio del soporte fijo y el eje de acero inoxidable se ha interpuesto un casquillo de PVC.

No se han utilizado casquillos de teflón ya que este material provoca un gran impacto ambiental, la fabricación del teflón implica un eco indicador de 16.089 mili puntos/kg en frente de los 270 mili puntos /kg del PVC rígido (ver apartado 7. Estudio Impacto Ambiental).

La geometría del aro de suspensión y de la carcasa (con los pesos adicionales) está pensada por un lado para aumentar el efecto del contrapeso en caso de desequilibrio y por el otro para aumentar el rozamiento con el aire. De esta manera en caso de balanceo de la carcasa respecto la vertical se reduce el tiempo de frenado al ser este dependiente en gran medida de la fuerza de resistencia al avance contra el aire y esta a su vez es proporcional al área frontal del objeto.

$$F_d = \frac{1}{2} \rho v^2 C_x A \quad (7)$$

Donde $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$ densidad del aire, v : velocidad relativa respecto al aire; C_x : coeficiente de penetración aerodinámica. A : superficie frontal.

A nivel constructivo es fácil separar los distintos tipos de materiales utilizados, facilitando su posterior reciclaje. De esta manera se garantiza un menor impacto ambiental del producto.

En caso de empeoramiento de las condiciones ambientales, lluvia, rociones de mar se puede colocar la tapa transparente de la caja, para ofrecer una protección extra.

Gracias a la caja es fácilmente transportable y se puede ubicar en cualquier parte de la cubierta y se puede mover con facilidad durante las mediciones o dejarse instalada fijamente protegiendo al producto de las inclemencias del tiempo cuando no se realizan las mediciones.

Para fijar-se de forma temporal dispone de 8 anclajes laterales para poder-se fijar mediante cuerdas o elásticos. Si se quiere fijar de forma más sólida y permanente en la embarcación, en la base de la caja dispone de 4 orificios para poderse atornillar a la cubierta o en una base diseñada para tal fin.

También se puede utilizar fuera de la caja y colgar-lo de mamparos o candeleros gracias al suelo perforado de la base.

Gracias a la tapa superior de la carcasa se puede acceder con facilidad al sensor y a las baterías.

El soporte fijo va marcado con las palabras proa y popa para facilitar la correcta instalación en relación a la embarcación.

Para su correcta ubicación en la embarcación hay que tener en cuenta los obstáculos en altura como arboladuras y superestructuras que podrían interferir en el cono de medidas.

Las dimensiones y los materiales elegidos para los distintos componentes satisfacen las solicitudes mecánicas a las que está sometido el mecanismo, resisten las condiciones de humedad y salinidad del ambiente marino y son fácilmente reciclables.

Material		Componentes	Uds.	Masa Ud. (gr)	Masa total (kg)
Plásticos	PVC rígido	Carcasa principal	1	778,16	0,778
		Aro sujeción	1	389,58	0,390
		Tapa carcasa	1	47,27	0,047
		Modulo auxiliar	1	57,22	0,057
		Casquillos	2	0,82	0,002
	Polietileno (PP)	Caja transporte	1	1.848,18	1,848
		Tapa caja transporte	1	418,54	0,419
	Goma EPDM	Junta tórica 1	1	1,08	0,001
		Junta tórica 2	1	1,03	0,001
Totales plástico			10		3,543
Metálicos	Acero inoxidable	Eje sujeción carcasa	2	30,07	0,060
		Eje sujeción aro sujeción	2	28,05	0,056
		Suplemento peso 1	1	353,05	0,353
		Suplemento peso 2	1	176,52	0,177
		Tornillería sujeción eje	16	0,38	0,006
		Pesas auxiliares equilibrado	20	0,48	0,010
	Aluminio	Soporte fijo	1	736,28	0,736
Totales Metálicos			43		1,398
Madera	Pino	Base sujeción	1	649,81	0,650
Totales Madera			1		0,650
Otros	Cristal	Lente tapa carcasa	1	20,85	0,021
Totales Otros			1		0,021
Totales			55		5,611

Tabla 8 Lista de componentes, materiales y materia prima

En el anexo B se describen las propiedades de los materiales.

En el anexo C se describen las instrucciones de instalación.

En el anexo D planos soporte marítimo se pueden ver con más detalle las dimensiones y la geometría de los elementos.

4.2.1. Validación geométrica y estructural.

Para la validación geométrica funcional de la solución se ha realizado un análisis de movimiento comprobando las colisiones entre sus componentes para distintas inclinaciones transversales y longitudinales obteniendo las inclinaciones máximas de trabajo, 25° en el eje longitudinal y de 50° en el eje transversal (ver figura 26).

Para validar la solución a nivel estructural se ha realizado un análisis estático de las piezas y del ensamblaje bajo las cargas a las que está sometido.

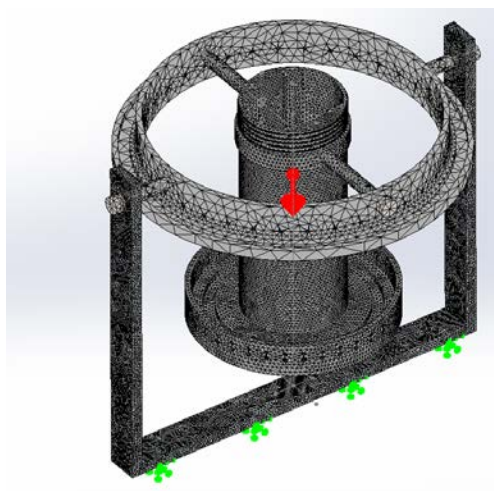
El análisis estático nos permite conocer cómo se deforma el sólido bajo la acción de una carga y como esta se transmite a través del mismo. El análisis permite determinar los desplazamientos, las deformaciones unitarias, las tensiones y el factor de seguridad.

El análisis estático con Solid Works Simulation realiza dos suposiciones a tener en cuenta. La primera considera que el ensayo se realiza en condiciones estáticas, y la segunda, define el ensayo como lineal, donde las deformaciones son proporcionales a las cargas.

Para analizar el soporte se ha ensamblado y mallado los componentes del soporte fijo, casquillos, ejes de sujeción, aro sujeción y carcasa. No se han incluido los componentes tapa carcasa, modulo auxiliar, SQM y baterías para facilitar el cálculo y mallado. Pero si se ha tenido en cuenta el efecto de sus cargas.

Se han incluido las restricciones de sujeción fija en la base del soporte y se han introducido las cargas debido al propio peso de los componentes mediante la fuerza de la gravedad y se ha añadido la fuerza de 5,14 N en la base interior de la carcasa debida al peso del sensor SQM con sus baterías, el peso de la tapa carcasa y el modulo auxiliar con una carga de 0,15kg.

A continuación las características de la malla y los resultados analizados.



Malla Detalles	
Nombre de estudio	Análisis estático 1 (-Predeterminado-)
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura
Puntos jacobianos	4 puntos
Control de malla	Definida
Tamaño máx. de elemento	27.9865 mm
Tamaño mín. de elemento	5.5973 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	433123
Número total de elementos	242065
Cociente de aspecto máximo	1589.2
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto < 3	92.4
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto > 10	1.76
% de elementos distorsionados (Jacobiano)	0

Fig. 27 Mallado y sus características

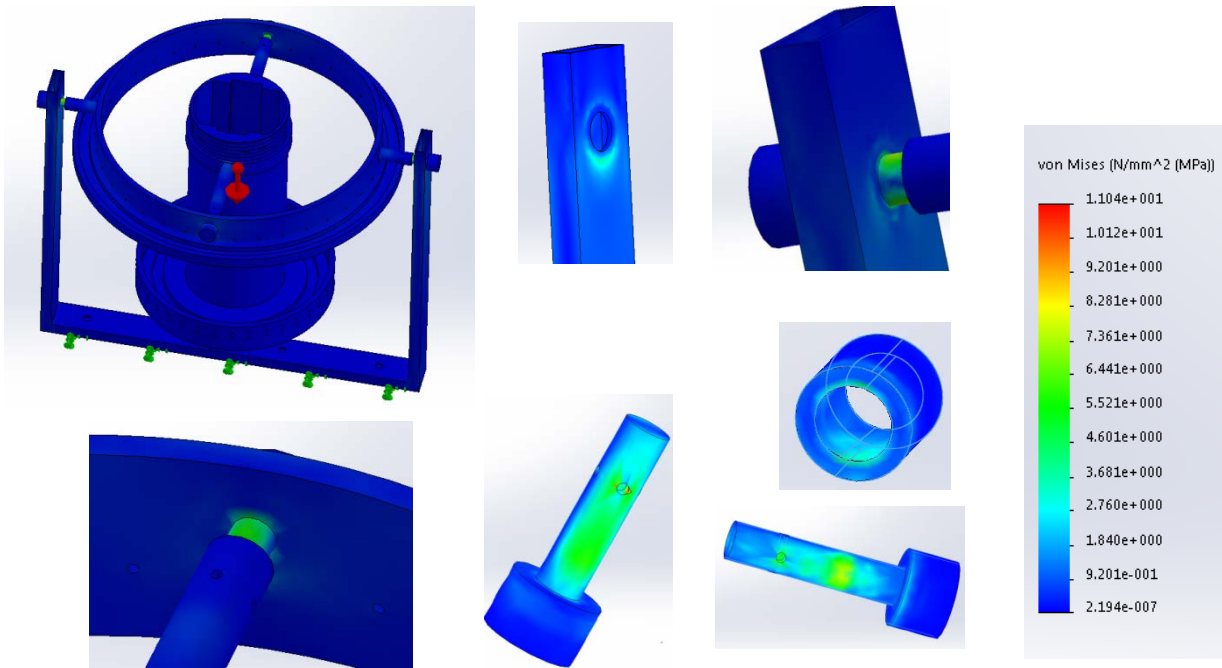


Fig. 28 Tensiones de Von Misses

Del análisis de tensiones se obtiene que las tensiones máximas se encuentren en los ejes de sujeción, en los casquillos y el soporte fijo. Siendo sus valores máximos:

- Eje sujeción aro-carcasa principal: $11,042 \times 10^6 \text{ N/m}^2$
- Eje sujeción soporte- aro sujeción: $7,55 \times 10^6 \text{ N/m}^2$
- Casquillo: $4,95 \times 10^6 \text{ N/m}^2$
- Soporte fijo: $3,652 \times 10^6 \text{ N/m}^2$

Estando muy por debajo de los límites elásticos del material utilizado, acero inoxidable ($170 \times 10^6 \text{ N/m}^2$), del aluminio ($27,5742 \times 10^6 \text{ N/m}^2$) y del PVC ($35,4 \times 10^6 \text{ N/m}^2$)

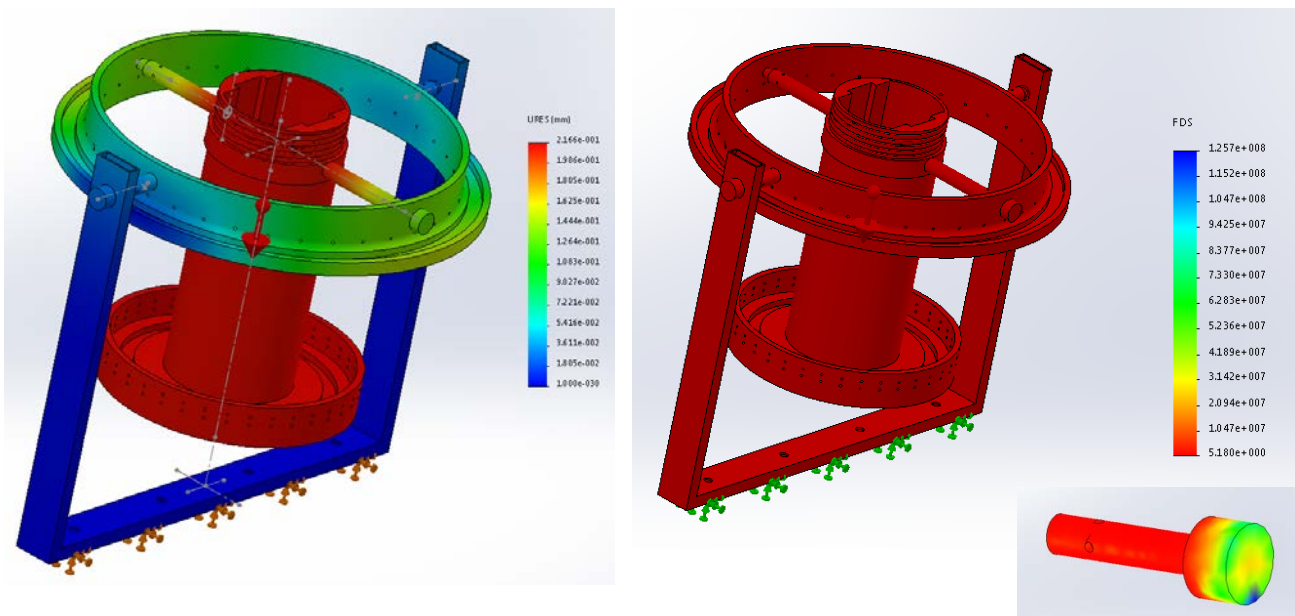


Fig. 29 Análisis de desplazamientos y Factor de seguridad

Del análisis se obtiene un desplazamiento máximo del conjunto de 0,21664 mm y un factor de seguridad mínimo de 5,1 (correspondiente al soporte fijo).

Factores de seguridad:

- Soporte fijo: 5,1
- Eje sujeción soporte-aro: 12
- Aro sujeción: 13
- Eje sujeción aro- carcasa: 15
- Casquillo: 23
- Carcasa principal: 33

Al ser superiores a la unidad se da por válida la solución a nivel estructural.

4.3. Especificaciones de producto.

A continuación se presentan las especificaciones del producto resultante cumpliendo satisfactoriamente las consideraciones previas para su diseño.

- 100% protegido contra las rachas de viento exterior.
- Estanqueidad IP67 para la carcasa principal y modulo auxiliar.
- Producto fácilmente reciclable en un 88% de su masa.
- 100% desmontable para su correcto reciclado.
- Vida útil superior a los 5 años.
- 100% compatible con el sensor SQM-LU-DL y su kit de baterías estándar.
- Espacio auxiliar disponible para sensores auxiliares capacidad (115 cm³)
- Permite modificar manualmente la inclinación inicial del sensor respecto la vertical.
- Admite inclinaciones longitudinales fijas y oscilantes de $\pm 25^\circ$ de la embarcación.
- Admite inclinaciones transversales fijas y oscilantes de $\pm 50^\circ$ de la embarcación.
- Mantiene la verticalidad en $\pm 5^\circ$ sufriendo aceleraciones inferiores a 0,85m/s²
- 4 puntos de anclaje para instalaciones permanentes.
- 8 puntos de anclaje para instalaciones movibles.
- Tiempo de instalación menor a 10 minutos.
- Fácil manipulación y transporte.
- Dimensiones máximas totales 454 mm x 404 x 330mm.
- Peso total del conjunto 5,6 kg.
- Mínimo mantenimiento, únicamente cambio de las juntas tóricas.
- Fácil montaje y desmontaje, tiempo inferior a 10 minutos.

5. Trabajo de campo.

El presente trabajo de campo consiste en la recolección de datos de la calidad del cielo nocturno, medidos en mag/arcsec^2 , utilizando el SQM en las aguas costeras del área metropolitana de Barcelona y está en concordancia con el trabajo iniciado en el PSAM2014-2020 (Pla de Sostenibilitat Àrea Metropolitana de Barcelona), “Avaluació de l'impacte ambiental lumínic de les instal·lacions d'enllumenat artificial nocturn a zones protegides de l'AMB.

Las mediciones del presente trabajo han de permitir:

Ser una prueba piloto para futuras mediciones en el ámbito marítimo.

- Extraer conclusiones de metodología de trabajo.
- Elaborar un mapa de la calidad del cielo marítimo nocturno en aguas costeras de Barcelona.
- Relacionar el alcance de la Contaminación Lumínica mar a dentro en función de las zonas de emisión de flujo superior y potencia instalada de alumbrado público.
- Comparar los valores reales obtenidos con estimaciones de CL con modelos de previsión. Star light pollution map 2006.
- Completar los estudios de CL en el AMB analizando su influencia en el mar.

5.1. Descripción de la metodología de trabajo.

A continuación se presenta la metodología a utilizar para la realización de los estudio de campo en aguas costeras.

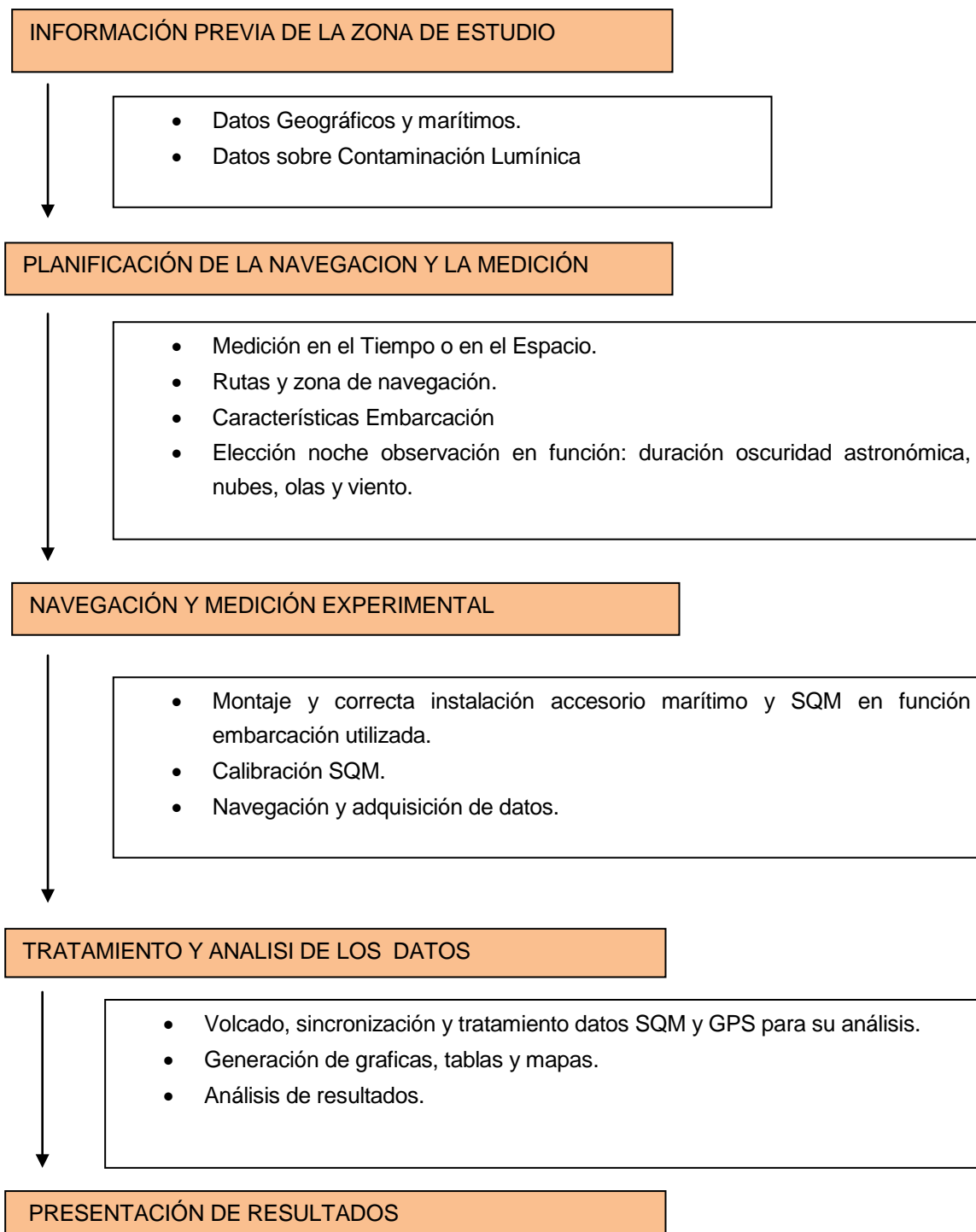


Fig. 30 Esquema metodología de trabajo

A continuación se describe a modo de ejemplo el trabajo de campo en aguas costeras de Barcelona.

5.1.1. Información Previa de la Zona de Estudio

Consiste en la recopilación de información relativa a la geografía tanto terrestre como marítima del lugar de estudio así como recopilar toda la información sobre contaminación lumínica, estudios previos, focos contaminantes, etc...

5.1.1.1. Datos Geográficos y Marítimos.

La zona geográfica y marítima de estudio corresponde a las aguas costeras del Área Metropolitana de Barcelona. Concretamente des del puerto de Vallcarca (Garraf) hasta el puerto de Badalona.



Fig. 31 Zona de estudio marítima

- **Poblaciones costeras:** Garraf, Castelldefels, Gavà, Viladecans, El Prat del Llobregat, Barcelona, Sant Adrià de Besòs, Badalona y Montgat.
- **Puertos:** Vallcarca, Garraf, Ginesta, Barcelona, Olímpic, Forum y Badalona.
- **Aeropuertos:** Aeropuerto Internacional del Prat.
- **Reservas o espacios naturales protegidos:** Reserva natural del Prat del Llobregat y Parque del Garraf.
- **Habitantes:** 3,2 millones en toda el área metropolitana de Barcelona.

5.1.1.2. Datos sobre Contaminación Lumínica:



Fig. 32 Imagen nocturna costa de Barcelona, fuente: [25]

- Del estudio de las cartas náuticas en el mar encontramos **84 puntos de luz**.

Descripción	Alcance Mínimo	Numero	Intensidad luminosa [Cd]/u	Intensidad Total [Cd]
Cardinal Luz blanca/amarilla	3 Nm	6	15,00	90,00
	5 Nm	3	77,00	231,00
Lateral luz Verde	1 Nm	11	0,90	9,90
	2 Nm	5	5,00	25,00
	3 Nm	9	15,00	135,00
	4 Nm	1	36,00	36,00
	5 Nm	9	77,00	693,00
	7 Nm	1	270,00	270,00
Lateral luz roja	1 Nm	11	0,90	9,90
	2 Nm	4	5,00	20,00
	3 Nm	17	15,00	255,00
	5 Nm	1	77,00	77,00
	7 Nm	1	270,00	270,00
Especial luz blanca/amarilla	10 Nm	2	1.400,00	2.800,00
Faro Vilanova	19NM	1	73.000,00	73.000,00
Faro Punta Llobregat	23 Nm	1	360.000,00	360.000,00
Faro Barcelona	26 Nm	1	1.100.000,00	1.100.000,00
TOTALES		84		1.537.921,80

Tabla 9 Inventario ayudas a la navegación, fuente: carta náutica

- Se observa del inventario de ayudas a la navegación que la intensidad luminosa de los faros supera los niveles máximos de intensidad permitidos en función del área de protección ya que para la zona menor protegida E4 es de 25.000 cd. A pesar que no son de obligado cumplimiento.

- En el área de la AMB encontramos **381.544 puntos de luz** con una potencia instalada de **48.540 kW** en alumbrado público. Siendo el consumo medio en alumbrado público por habitante de 101,90 kWh/hab y año. [26]
- En toda el área de la AMB el total del **flujo luminoso superior** emitido hacia el cielo es de **312 Mega lúmenes**, siendo una tercera parte la generada por la ciudad de Barcelona. [26]

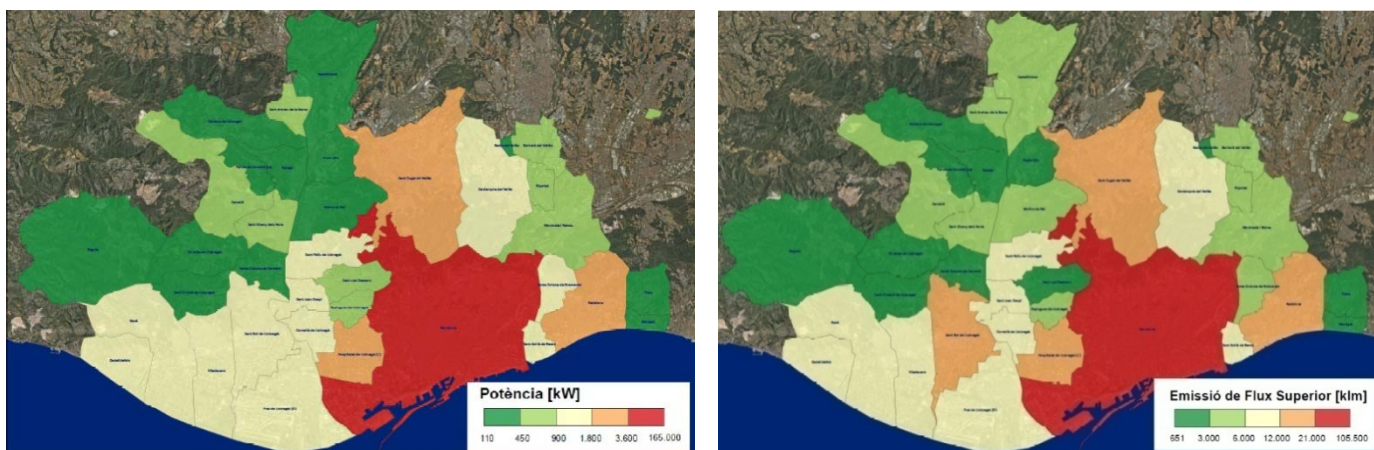


Fig. 33 Distribución potencia instalada y emisión de flujo luminoso del alumbrado público AMB, fuente [18]

En estudios previos de CL en la AMB podemos ver como las medidas experimentales de calidad del cielo nocturno obtenidas en el paseo marítimo de Barcelona y en la costa son **inferiores a 17 mag/Arcsec²**. [26]

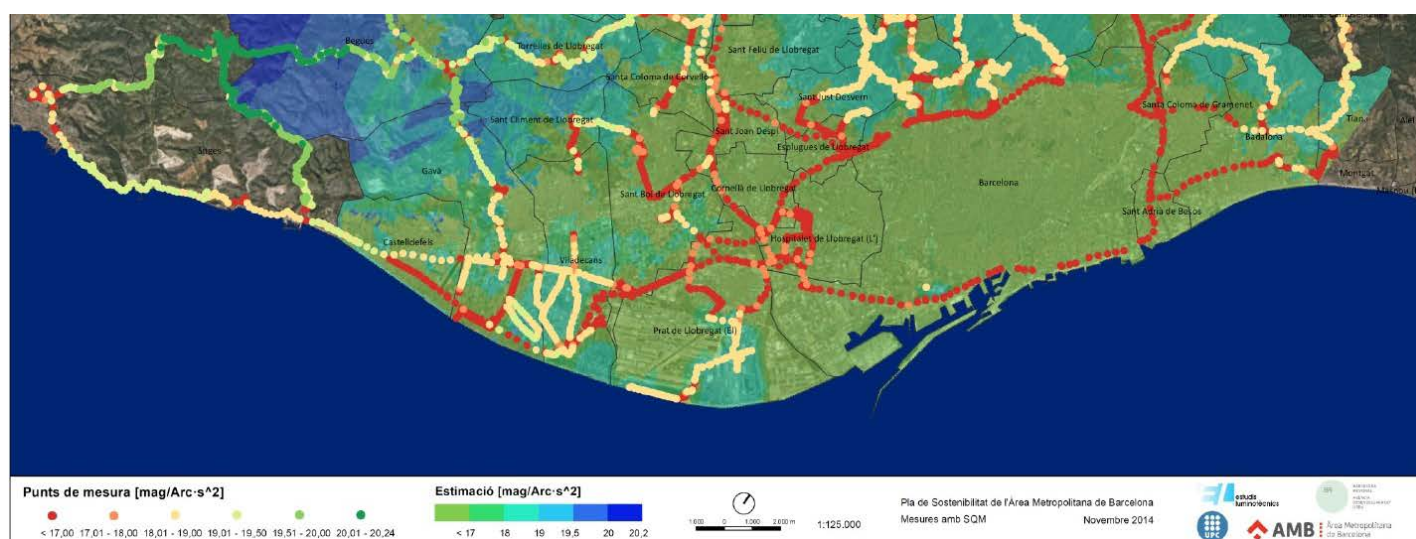


Fig. 34 Mapa de la calidad del cielo nocturno de la AMB [26]

- A nivel mundial existen mapas estimados de la calidad del cielo nocturno basados en imágenes por satélite. Por ejemplo el que encontramos en <http://www.lightpollutionmap.info> y <http://djllorenz.github.io/astronomy/lp2006/> . Se ha utilizado el nuevo atlas re calculado de Pierantonio Cinzano's por David Lorenz. Aunque el de Lorenz es del 2006, se ha utilizado debido al detalle de la escala de magnitudes y se ha deducido los valores en función de la distancia a la costa.

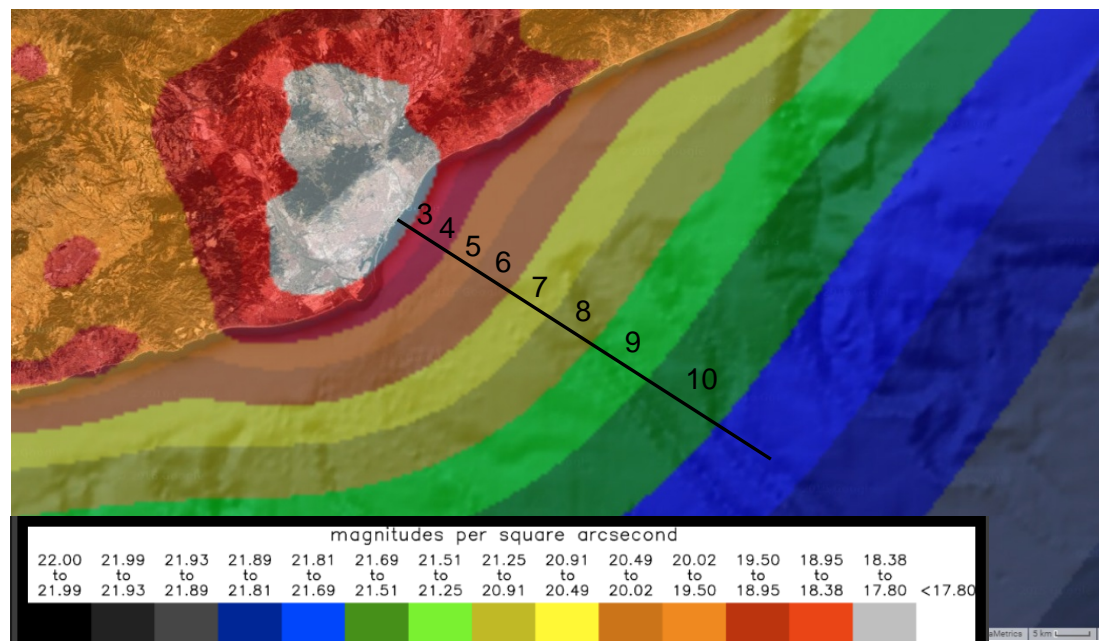


Fig. 35 Estimación mapa calidad del cielo nocturno en aguas de Barcelona, fuente: [27] y elaboración propia

		Intervalos calidad cielo		distancia a la costa	Codificación Calidad del cielo Generalitat de Catalunya
Codificación D. Lorenz		mag/arsec ²	mag/arsec ²		
	10	21,51	21,69	45	Excelente
	9	21,25	21,51	35	Muy buena-Excelente
	8	20,91	21,25	27,5	Muy buena
	7	20,49	20,91	20	Buena
	6	20.02	20,49	13,75	Buena
	5	19,50	20,02	8,75	Moderada
	4	18,95	19,50	5	Moderada
	3	18,38	18,95	2,5	Baja
	2	17,80	18,38	-	Deficiente - baja
	1	17,80		-	Muy deficiente

- Otros focos de CL cuyo impacto es difícil de cuantificar son los aviones que sobrevuelan la zona, los barcos en navegación y fondeados.
- Es curioso resaltar que en el ámbito marítimo únicamente tenemos marcada como zona de protección delante del Parque Natural del Garraf, siendo esta E1 pero no tenemos ningún tipo de protección en el resto del litoral de nuestra zona de estudio, incluso delante de la Reserva del Delta del Llobregat.

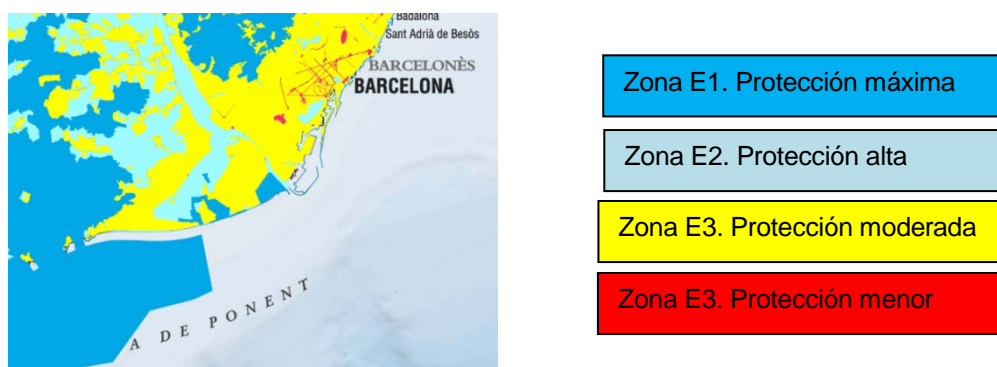


Fig. 36 Zonas de protección CL aguas costeras Barcelona, fuente: [18]

5.1.2. Planificación de la Navegación y la Medición

Consiste en definir qué tipo de medición de la calidad del cielo nocturno se quiere realizar, en el tiempo o en el espacio, definir el tipo de mallado para la adquisición de datos, es decir, la planificación de las rutas de navegación. En función de lo mar a dentro que se navegue, la embarcación y la tripulación han de cumplir unos requisitos legales, así como elegir la noche de observación idónea en función del intervalo de oscuridad, ausencia de nubes bajas, medias, altas y las condiciones de oleaje y viento.

5.1.2.1. Medición en el tiempo o en el espacio.

Las mediciones pueden ser de dos tipos, en el tiempo o en el espacio.

Las mediciones en el tiempo nos permiten obtener la variación temporal del fondo celeste, en función de las fases lunares, la nubosidad y encendido y apagado de las instalaciones, para ello sería necesario fijar el SQM en un punto geográfico fijo, en este caso a una boya o pasar la noche fondeados en la misma ubicación.

En el caso de instalar una boya es necesario pedir permiso a Capitanía Marítima debido a que cualquier elemento fijo instalado en el mar puede ser un peligro y ha de estar correctamente balizado y puesto en conocimiento al resto de navegantes.

En el presente estudio de campo se ha optado por el sistema de mediciones en el espacio permitiendo obtener una visión general del conjunto del fondo celeste de la zona de estudio.

Para ello se ha dotado de un sensor SQM a una embarcación y se han realizado navegaciones nocturnas para obtener datos de medición en la zona de estudio.

Los intervalos de adquisición de datos son cada 15 segundos para el SQM y cada 1 segundo para el GPS. (Condiciones estándar)

5.1.2.2. Rutas y zonas de Navegación.

Al no existir carreteras en el mar, la navegación es libre. Se navega trazando rumbos sobre la carta náutica. Podemos navegar utilizando rutas predeterminadas o aleatorias. Dentro de las determinadas podemos aprovechar las rutas comerciales o crear nuestras propias rutas.

Para la realización de estudios es mejor predeterminar las rutas de estudio para facilitar futuras comparaciones, aunque para facilitar la popularización de la toma de medidas entre la población y sobre todo entre los veleros sería más conveniente la toma de mediciones en navegación aleatoria.

Para cubrir grandes distancias de estudio y detectar la influencia de los buques mercantes y de pasaje se pueden utilizar las rutas comerciales por las que navegan.

El presente estudio, el mallado de rutas más apto para la adquisición de datos son rutas perpendiculares a la costa, al no querer elaborar un mapa detallado de la calidad del cielo nocturno pero si saber a qué distancia de la costa hay que navegar para encontrar una buena calidad del cielo nocturno.

El número de rutas y separación de las mismas dependerá del presupuesto disponible y del interés del estudio. A mayor definición del mapa que se quiera obtener, mayor presupuesto y menor distancia entre rutas.

Para la planificación de las rutas de navegación se han de definir los waypoints, los rumbos entre puntos y analizar si hay obstáculo en la ruta, como boyas, piscifactorías, etc...

En función de la distancia mar a dentro navegada, se definen las siguientes zonas de navegación, hasta 2 millas (3,7 km) navegación en aguas costeras zona "6", hasta 5 millas (9,2 km) navegación en aguas costeras zona "5", hasta 12 millas (22,2 km) navegación en aguas costeras zona "4", hasta 25 millas (46,2 km) navegación en alta mar zona "3", hasta 60 millas (111,1 km) navegación en alta mar zona "2" y a partir de 60 millas navegación oceánica zona "1".

5.1.2.3. Características embarcación.

En función de la distancia a la que se quiera navegar de la costa la embarcación ha de ir equipada con un mínimo de elementos de seguridad y el patrón ha de disponer de la titulación pertinente.

Así como tener en cuenta la autonomía de la embarcación en función de su velocidad de crucero y su consumo de combustible.

Al tener facilidad de acceso a un velero de regatas Mini Transat 6.50 modelo Pogo1 se ha utilizado esta embarcación, siendo sus características las siguientes:

- Eslora 6,50m, manga 2,99m y calado 1,80m.
- Mástil de 11m de altura.
- Motor auxiliar de 5 CV; Consumo gasolina sin plomo 1,75 l/h.
- Capacidad combustible: 30 litros (1 tanque de 10l y 1 tanque de 20l).
- Velocidad máxima de crucero a motor 9 km/h (5 nudos).
- Autonomía de navegación exclusivamente a motor: 17 horas y 155km (80 NM).
- Equipado para navegación de altura (zona 2) (60 millas de la costa).



Fig. 37 Embarcación con las que se han realizado las medidas, fuente: autor.

Teniendo en cuenta que las medidas del sensor SQM se toman en intervalos de 15 segundos y la posición del GPS en intervalos de 1 segundo y la velocidad máxima a motor es de 9 km/h podemos asegurar que tenemos como mínimo una lectura de la calidad del cielo nocturno cada 37,5 metros, intervalo más que suficiente para este estudio.

Cuando se hacen las mismas mediciones en carretera, se hacen cada 50-100 m, el coche a 80 km/h y el sensor a intervalos de 5 segundos.

Aunque se han hecho las mediciones en un velero por facilidad de acceso y reducción de costes, se recomienda hacer las mediciones a bordo de embarcaciones a motor, debido a la

mayor rapidez de desplazamiento y menos obstáculos en altura facilitando la ubicación del sensor.

5.1.2.4. Elección de la noche de observación.

Para que las medidas obtenidas de la calidad del cielo nocturno sean validas, es necesario salir durante el período de noche astronómica, es decir en intervalos de oscuridad total, por lo tanto sin la presencia de la luna encima del firmamento o con días de luna nueva y sin presencia de nubes. Siendo estas las condiciones óptimas de medición para el SQM.

Es necesario saber en función de nuestras coordenadas de posición los intervalos de oscuridad (hora de inicio, hora final y duración) de los que disponemos. Gracias al programa astronómico “ Cartres du Ciel” (<http://www.ap-i.net/skychart/es/start>) podemos obtener dicha información.

JULIO							AGOSTO						
L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D
				1	2	3	1	2	3	4	5	6	7
4	5	6	7	8	9	10	8	9	10	11	12	13	14
11	12	13	14	15	16	17	15	16	17	18	19	20	21
18	19	20	21	22	23	24	22	23	24	25	26	27	28
25	26	27	28	29	30	31	29	30	31				

Fecha	Hora Inicio	Hora Final	Duración	Fecha	Hora Inicio	Hora Final	Duración
02/07/2016	23h37m	4h21m	4h44m	08/08/2016	23h59m	5h11m	5h12m
29/07/2016	23h07m	2h36m	3h29m	10/08/2016	0h30m	5h14m	4h44m
30/07/2016	23h05m	3h26m	4h21m	11/08/2016	1h03m	5h16m	4h13m
31/07/2016	23h03m	4h19m	4h16m	12/08/2016	1h39m	5h17m	3h37m
01/08/2016	23h02m	5h00m	5h58m	13/08/2016	2h19m	5h19m	3h00m
02/08/2016	23h00m	5h02m	6h02m	26/08/2016	22h15m	1h23m	3h08m
03/08/2016	22h58m	5h03m	6h05m	27/08/2016	22h13m	2h14m	4h01m
04/08/2016	22h57m	5h05m	6h08m	28/08/2016	22h12m	3h11m	4h59m
05/08/2016	22h55m	5h07m	6h12m	29/08/2016	22h10m	4h10m	6h00m
06/08/2016	23h01m	5h08m	6h07m	30/08/2016	22h08m	5h11m	7h03m
07/08/2016	23h30m	5h10m	5h40m	31/08/2016	22h06m	5h44m	7h38m

Tabla 11 Ejemplo noches de duración oscuridad astronómica > 3h

Aparte del intervalo de oscuridad hay que saber el estado del cielo y del mar, ya que afecta a la validez de las mediciones y a la seguridad de la navegación (embarcación y tripulación).

Por consiguiente se ha de tener en cuenta la previsión meteorológica:

- Cielo despejado: ausencia de nubes bajas, medias y altas.
- Estado del mar.
- Fuerza del viento.

Existen muchos recursos de consulta, entre otros:

- Predicción modelos numéricos mesoescala WRF-ARW, 3km
<http://www.meteo.cat/prediccio/models/wrf>
- Aplicación para móviles windfinder. (basados en información de la NOAA)
- Zygrib (programa informático que utiliza fichero de predicción GRIB)

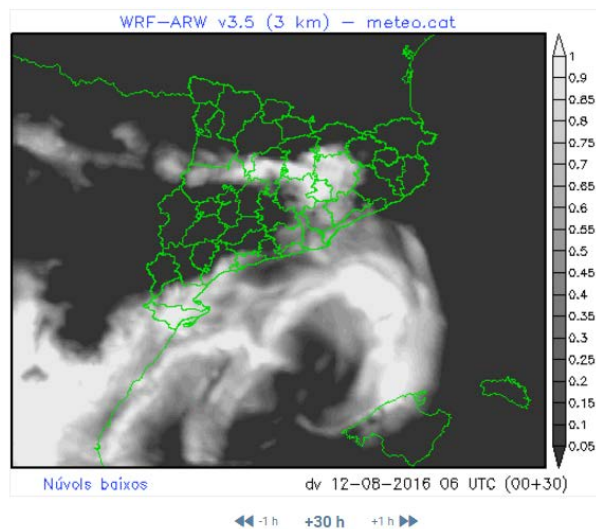


Fig. 38 Ejemplo predicción nubosidad, fuente: [28]

5.1.3. Navegación y Medición Experimental.

Consiste en la correcta instalación y fijación a bordo de la embarcación para asegurar la libertad de obstáculos en altura para el sensor y la ausencia de focos lumínicos directos, obtener valores de calibrado para posibles correcciones en las mediciones y el control del buen funcionamiento del soporte.

5.1.3.1. Montaje e instalación.

Para la correcta instalación del accesorio en la embarcación nos hemos de asegurar que la ubicación escogida no reciba luz directa de ningún foco luminoso (luces de navegación y/o instrumentos de navegación) y que ninguna parte de la embarcación, arboladura o

superestructura entre dentro del cono de 20° de observación del sensor sea cual sea el movimiento de la embarcación.

Es necesario analizar la interferencia de las posible posiciones de los objetos en altura para inclinaciones longitudinales de $\pm 25^\circ$ y transversales de $\pm 50^\circ$ con el cono de lecturas.

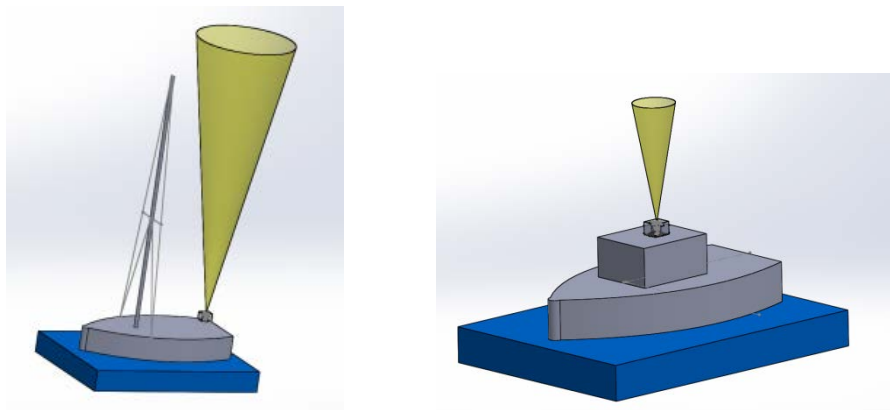


Fig. 39 Ejemplos ubicación

5.1.3.2. Encendido y calibración.

Al navegar de noche estamos obligados a llevar encendidas las luces de navegación.

Independientemente de la ubicación escogida, es importante comprobar si alguna luz de la embarcación (luces de navegación o instrumentos) influye en las lecturas del sensor.

Se tomaran lecturas con y sin las fuentes de luz encendidas para ver que variación existe entre ellas. De existir variación en el valor de la lectura, esta diferencia se ha de sumar a las medidas obtenidas durante la navegación.

5.1.3.3. Navegación y adquisición de datos.

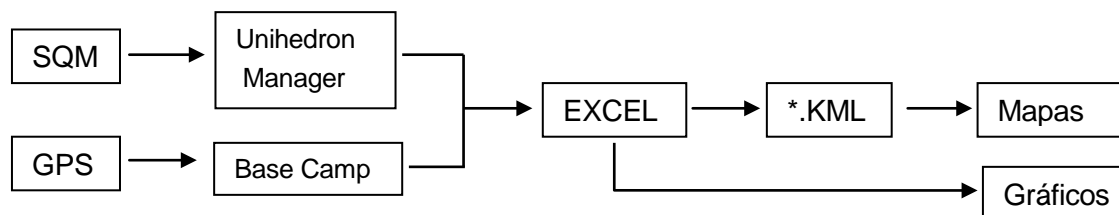
Una vez situados en el punto de origen de la ruta escogida, con el SQM y el GPS funcionando y adquiriendo datos se iniciara la navegación, al ser un estudio piloto, a intervalos regulares se irá comprobando que el accesorio mantiene la verticalidad del sensor, se anotara la altura máxima de las olas, la intensidad máxima del viento, el estado de la nubosidad así como cualquier observación que se considere relevante como por ejemplo pasar cerca de un buque de pasaje o una ayuda a la navegación.

5.1.4. Tratamiento y Análisis de los Datos.

Consiste en tratar los datos obtenidos para poder trabajar con ellos y analizar los resultados.

5.1.4.1. Volcado, sincronización y tratamiento de datos.

Para cada tramo estudiado se han seguido los siguientes pasos para tratar y analizar los datos obtenidos:



1. Volcado de los datos del SQM al ordenador mediante el programa “Unihedron Device Manager” y generación del archivo *.dat con todas las mediciones.
2. Volcado de los datos del GPS al ordenador mediante el programa “Base Camp” y generación de archivo *.gpx con las coordenadas de posición medidas.
3. Generar con el programa “Excel” un archivo con los datos SQM sincronizados con las posiciones GPX a través de la hora. Para ello:
 - Abrir *.dat con el Excel y separar los datos en columnas.
 - Mediante el programa “Base Camp” eliminar las lecturas de posición de GPS anteriores a la primera hora (en minutos y segundos) para que coincida con la primera medición del SQM, entonces filtrar a 15 segundos la obtención de puntos de posición.
 - Hacer correr un “script” para sincronizar las medidas del SQM y GPS en formato ASCII.
4. Con los datos sincronizados, eliminar los datos no válidos, como datos fuera de intervalo de oscuridad y valores anómalos.
5. Corregir las lecturas restandole 0.15 mag/arsc² debido a la tapa interferencia de cristal carcasa y sumarle la corrección por luces de navegación.
6. Convertir coordenadas de posición a grados de latitud y longitud.
7. Generar archivo tramo*.kml para su representación en google earth.
8. Calcular distancia de coordenadas a punto origen tramo en tierra utilizando la fórmula de haversine [29]
9. Clasificar valores en función de intervalos de la Generalitat.
10. Clasificar valores en función de intervalos atlas 2006.

5.1.5. Presentación de Resultados.

5.1.5.1. Ruta 1. Zona bocana norte.

Fecha: Noche del 2 al 3 de julio del 2016

Intervalo valido de oscuridad: de las 23:37h del día 2 a las 04:21h del 3.

Estado del Cielo: Despejado. **Estado de la mar:** Marejada, altura máxima 0.7 metros

Intensidad de viento máxima: 10 nudos.

Coord. Origen punto de la costa: 41.355° N; 002.180°E **Rumbo:** 125°

Nº de lecturas:302 **Intervalo lecturas:** 15 s. **Distancia navegada:** 9 km

Calificación	Medida [mag/arsec ²]	Visibilidad Vía Láctea	Nº estrellas Observables	Color
7-Excelente	21,40	potente	>5.000	
6-Muy buena	21,00 – 21,39	Si	3.000 – 5.000	
5-Buena	20,00 – 20,99	Si	1.000 – 3.000	
4-Moderada	19,00 – 19,99	A veces	500 – 1.000	
3-Baja	18,00 – 18,99	No	200 – 500	
2-Deficiente	17,50 – 17,99	No	50 – 200	
1-Muy deficiente	< 17,50	No	< 50	



Fig. 40 Mapa calidad del cielo nocturno ruta 1, fuente: lecturas reales y codificación Generalitat

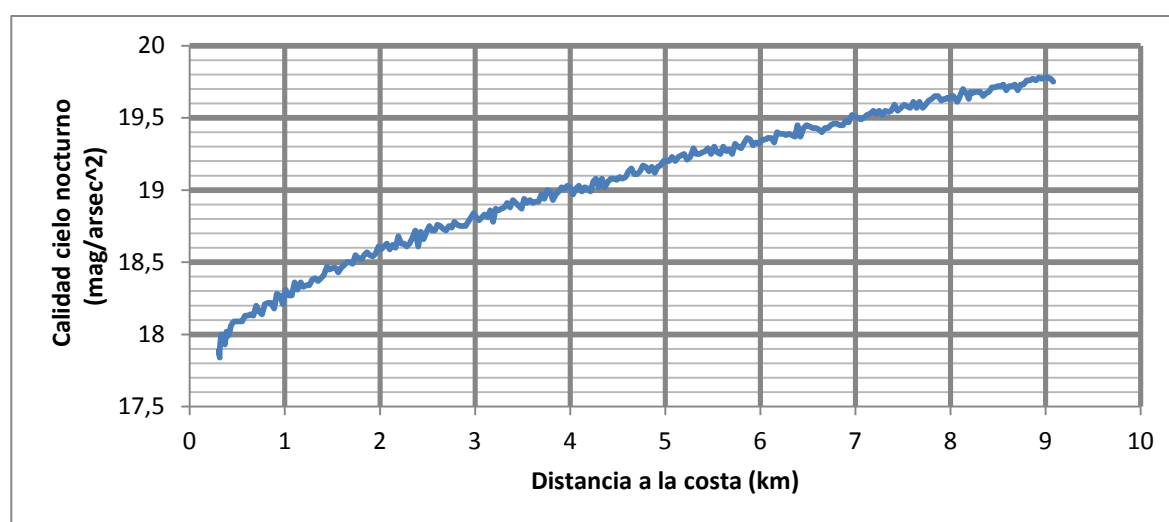


Fig. 41 Lecturas calidad del cielo nocturno en función distancia a la costa ruta 1, fuente: lecturas reales

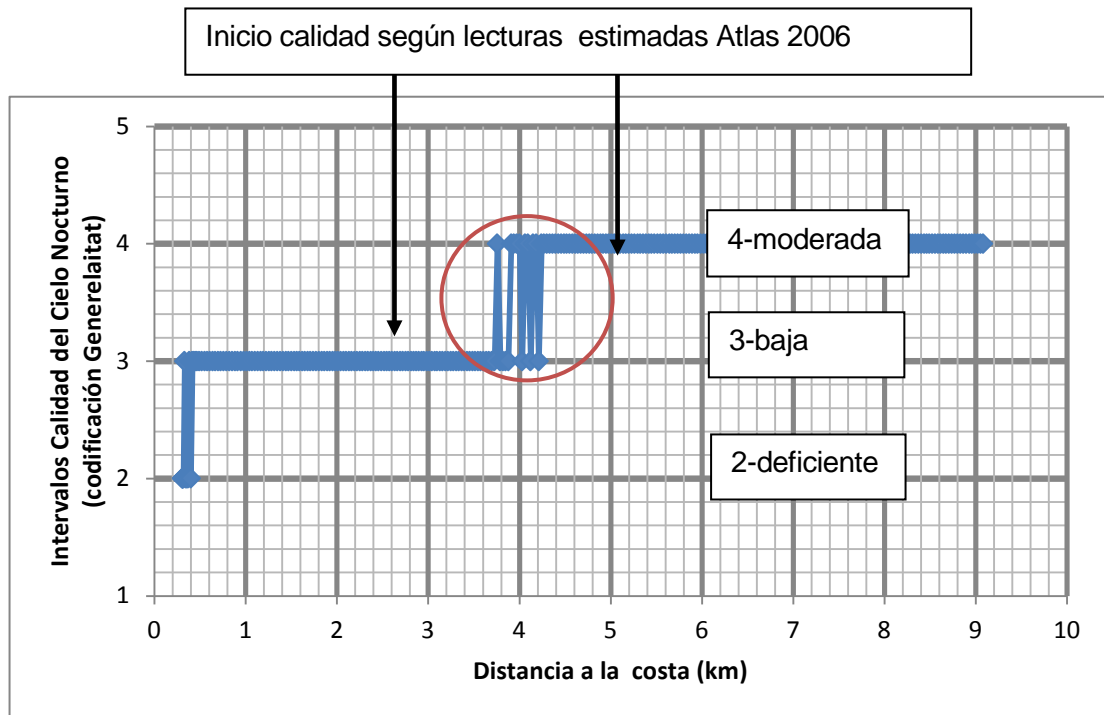


Fig. 42 Intervalos calidad cielo nocturno ruta 1, fuente: lecturas reales

Según las lecturas tomadas experimentalmente, la calidad del cielo nocturno que encontramos delante de la bocana norte del muelle comercial de Barcelona es de deficiente hasta los 300 metros, entre los 0,3 km y 4 km es baja y a partir de los 4 km es moderada, mar a dentro. La transición de calidad baja a moderada se realiza durante una franja de aproximadamente 400 metros de distancia.

En esta zona, para poder ver a veces la vía láctea y poder observar de 500 a 1000 estrellas, es necesario adentrarnos mar a dentro 4 km.

Comparando con los datos estimados se observar que hay una discrepancia aproximada de 2,2 km para el inicio de la calidad baja y de 1 km para la calidad moderada. Es decir, las lecturas reales nos definen mejores calidades que las lecturas estimadas

5.1.5.2. Ruta 2. Zona Antigua central térmica Badalona.

Fecha: Noche del 7 al 8 de agosto del 2016

Intervalo valido de oscuridad: de las 23:30h del día 7 a las 05:10h del 8.

Estado del Cielo: Despejado. **Estado de la mar:** Marejadilla, altura máxima 0.5 metros

Intensidad de viento máxima: 7 nudos.

Coord. Origen punto de la costa: 41.425° N; 002.236°E **Rumbo:** 115°

Nº de lecturas:924 **Intervalo lecturas:** 15 s. **Distancia navegada:** 31.7 km

Calificación	Medida [mag/arsec ²]	Color
7-Excelente	21,40	
6-Muy buena	21,00 – 21,39	
5-Buena	20,00 – 20,99	
4-Moderada	19,00 – 19,99	
3-Baja	18,00 – 18,99	
2-Deficiente	17,50 – 17,99	
1-Muy deficiente	< 17,50	



Fig. 43 Mapa calidad cielo nocturno ruta 2, fuente: lecturas reales y codificación Generalitat

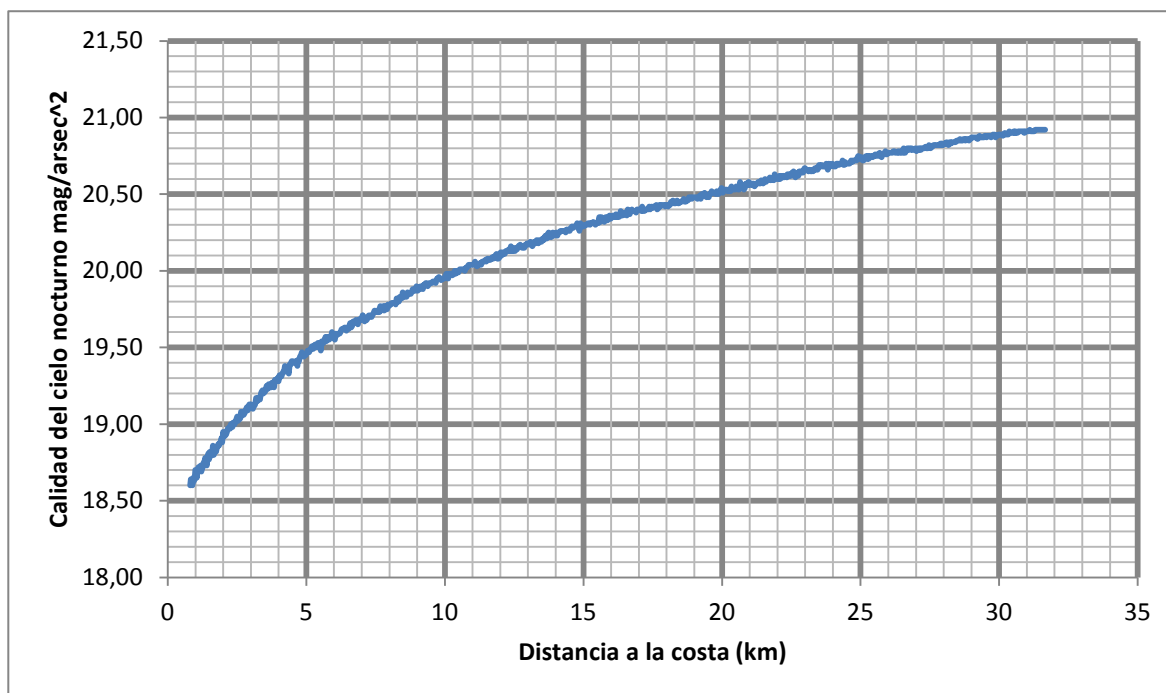


Fig. 44 Lecturas calidad del cielo nocturno en función distancia a la costa ruta 2, fuente: lecturas reales

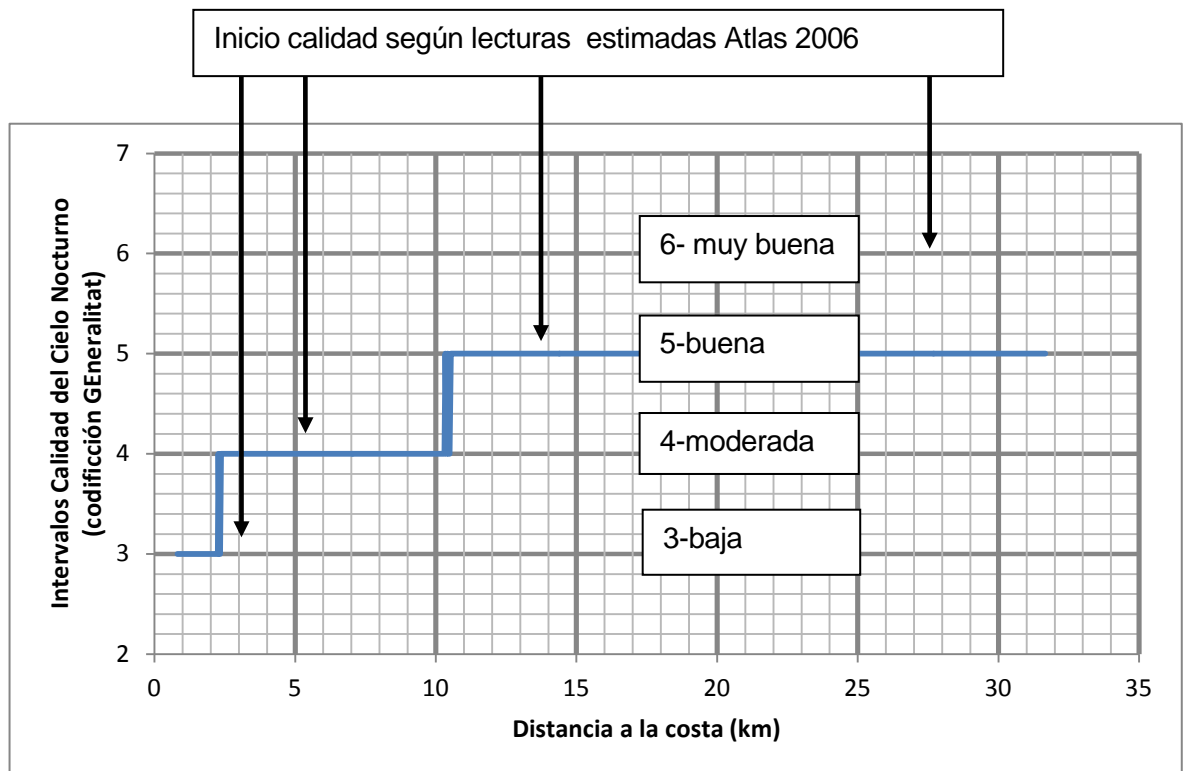


Fig. 45 Intervalos calidad cielo nocturno ruta 2, fuente: lecturas reales

Según las lecturas tomadas experimentalmente, la calidad del cielo nocturno que encontramos delante de la antigua central térmica de Badalona es baja hasta a 2,4 km, entre 2,4 km y 10,5 km es moderada y a partir de los 10,5 km es buena. Se puede observar también una pequeña zona de transición en las zonas de cambio de calidad.

En esta zona, para poder ver a veces la vía láctea y poder observar de 500 a 1000 estrellas, es necesario adentrarnos mar a dentro 2,4 km.

Comparando con los datos estimados se observar que hay una discrepancia aproximada de 0,1 km para el inicio de la calidad baja, de 2,6km para la calidad moderada, de 4km para la calidad buena. Es decir, las lecturas reales nos definen mejores calidades que las lecturas estimadas, no siendo así para la calidad muy buena que según la estimada a los 27,5 km empezaría, y según las lecturas reales a los 31,6 km aún nos encontramos en calidad buena.

5.1.5.3. Comparación entre zonas.

Calificación	Color
7-Excelente	Black
6-Muy buena	Blue
5-Buena	Green
4-Moderada	Light Green
3-Baja	Yellow
2-Deficiente	Orange
1-Muy deficiente	Red



Fig. 46 Mapa calidad cielo nocturno rutas 1 y 2, fuente: lecturas reales y codificación Generalitat

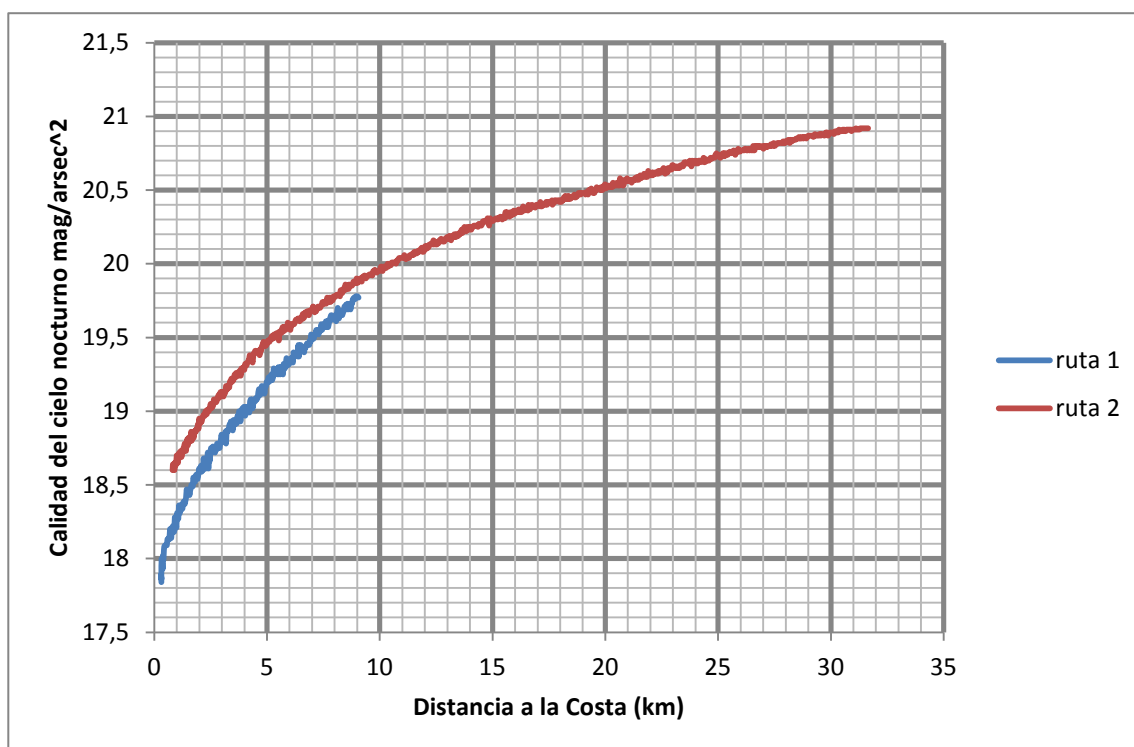


Fig. 47 Comparativa lecturas reales calidad cielo zona de estudio, fuente: lecturas reales

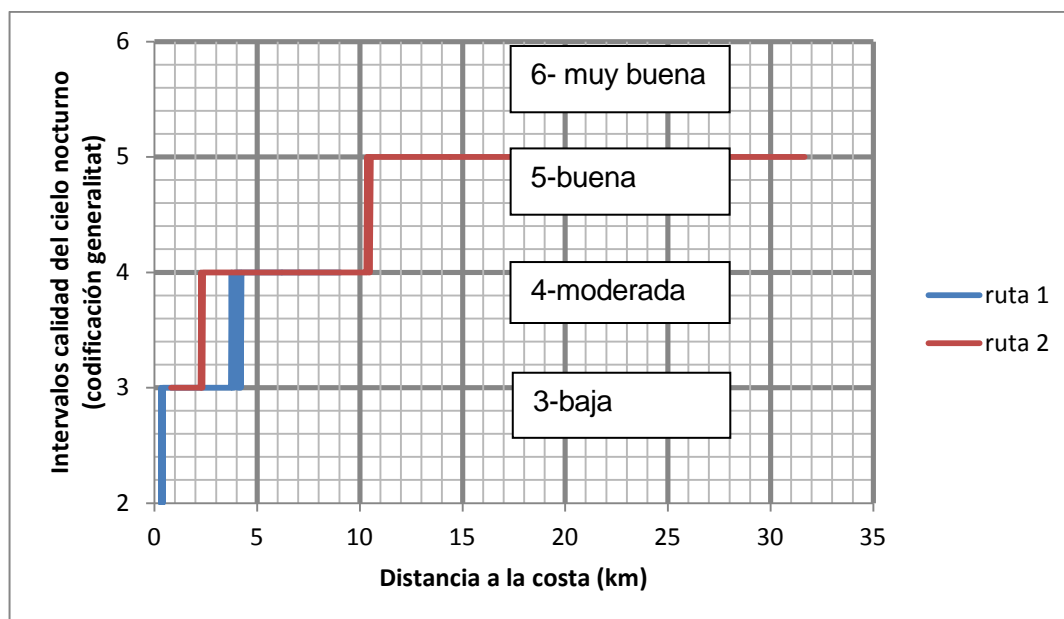


Fig. 48 Comparativa intervalos calidad cielo nocturno zona de estudio, fuente: lecturas reales

Se observa que la calidad del cielo nocturno es inferior en la ruta 1 que en la ruta 2.

Resultado en concordancia si tenemos en cuenta la distribución de las emisiones de flujo superior. La ruta 1 recibe valores más elevados que la ruta 2. Añadir que la ruta 1 se encuentra delante del puerto comercial de Barcelona, cuya actividad industrial es muy importante incluso de noche.

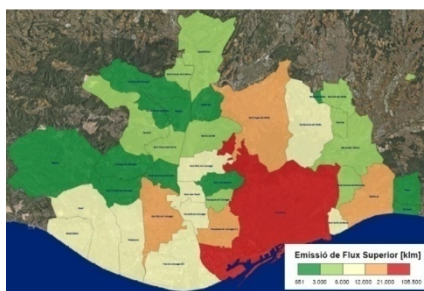


Fig. 49 Emisión flujo superior alumbrado AMB, fuente:[26]

Aunque no se dispone de valores más allá de los 9 km para la ruta 1, se intuye que las lecturas tienden a converger con las lecturas de la ruta 2 a partir de los 10 km de distancia de la costa.

6. Estudio Económico.

A continuación se presentan los presupuestos derivados del presente proyecto, para ello se han tenido en cuenta las siguientes tareas:

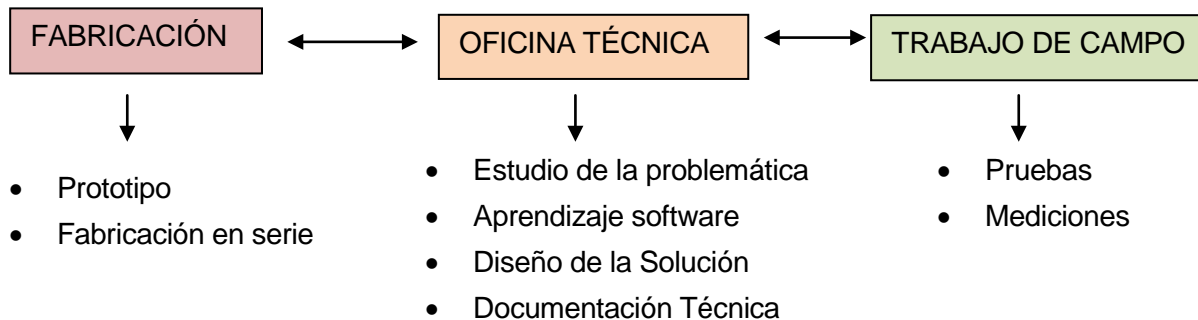


Fig. 50 Tareas del proyecto

6.1. Oficina Técnica

En este capítulo se incluye el presupuesto de oficina técnica para la realización del estudio de la problemática, del aprendizaje en la utilización del software Solid Works, del diseño de la solución, la elaboración y redacción de la documentación técnica necesaria.

Los gastos de recursos del despacho, alquiler, suministros, ordenador, impresora y fungibles de oficina se han imputado dentro del punto gastos generales.

Aunque se ha utilizado la licencia Académica de Solid Works, para el cálculo se ha imputado el 20% de la licencia profesional.

Concepto	Descripción	Unidades	Coste Unitario (€)	Coste (€)
Personal	Horas Ingeniero Sénior	20	85,00	1.700,00
	Horas Ingeniero junior	550	35,00	19.250,00
Total personal				20.950,00
Licencias de Software	Office (20%)	1	31,00	31,00
	Solid Works (20%)	1	1.023,66	1023,66
Total Licencias				1.054,66
Gastos generales (13%)				2.860,61
Beneficio Industrial (6%)				1.320,28
Total antes impuestos				26.185,54
I.V.A. (21%)				5.498,96
TOTAL OFICINA TÉCNICA DESPUES IMPUESTOS				31.684,51

Tabla 12 Presupuesto Costes Oficina Técnica

6.2. Fabricación de la solución.

En este capítulo se ha estimado los costes para la fabricación en serie del producto, suponiendo una tirada de 500 unidades. Así como el coste del prototipo.

Concepto	Descripción	Unidades	Coste Unitario (€)	Coste (€)
Personal	Personal taller mecanizado piezas	1,2	24,00	28,80
Materiales	Barra inox Ø 15 x 200mm	1	2,36	2,36
	Tubo rectangular aluminio galvanizado 30x10x1.5x1000mm	1	3,50	3,50
	Tornillo DIN 84 inox A4 2 mm	36	0,07	2,52
	Tuerca DIN934 inox A4 2 mm	20	0,07	1,40
	Tablero macizo 600x400x18 mm	1	7,30	7,30
	Caja de plástico	1	7,00	7,00
	Varilla Ø12 mm PVC	1	0,95	0,95
Impresión 3D	Carcasa principal	1	91,75	91,75
	Aro sujeción	1	44,85	44,85
	Tapa carcasa	1	4,08	4,08
	Modulo auxiliar	1	6,64	6,64
Total Prototipo				201,15

Tabla 13 Costes prototipo

Concepto	Descripción	Unidades	Coste Unitario (€)	Coste (€)
Personal	Horas personal taller mecanizado	600	24,00	14.400,00
Moldes e inyección	Carcasa principal	1	7.500,00	7.500,00
	Aro sujeción	1	7.500,00	7.500,00
	Tapa carcasa	1	3.500,00	3.500,00
	Modulo auxiliar	1	3.500,00	3.500,00
	Caja de transporte	1	3.500,00	3.500,00
Material (kg)	Carcasa principal	389	1,80	700,20
	Aro sujeción	195	1,80	351,00
	Tapa carcasa	23,5	1,80	42,30
	Modulo auxiliar	28,5	1,80	51,30
	Caja de transporte	1133,5	0,95	1.076,83
Materiales	Barra inox Ø 15 x 200mm	500	2,36	1.180,00
	Tubo rectangular aluminio galvanizado 30x10x1.5x1000mm	500	3,50	1.750,00
	Tornillo DIN 84 inox A4 2 mm	18.000	0,07	1.260,00
	Tuerca DIN934 inox A4 2 mm	10.000	0,07	700,00
	Tablero pino 4500x200mm	39	9,00	351,00
TOTAL FABRICACIÓN				47.362,63

 Tabla 14 Costes fabricación

El coste por unidad producida es de 94,72 € y tras aplicar un beneficio industrial del 25% y un Impuesto del Valor Añadido del 21 %, se obtiene un precio PVP con I.V.A de 143,27 €

6.3. Trabajo de Campo

En este capítulo se incluye el presupuesto para salir a navegar para probar el sistema y la toma de medidas. El presupuesto es por día de navegación, se factura por periodos de 24 horas, independientemente de las horas nocturnas navegadas.

Aunque para este proyecto se ha tenido acceso a una embarcación con patrón a precio reducido, para el cálculo se han utilizados precios de mercado. El alquiler de la embarcación no incluye el consumo de combustible, para el cálculo se han estimado 12 horas de navegación incluyendo el tiempo necesario para ir y volver a la zona de estudio.

Los costes de transporte y manutención del personal técnico están incluidos en el punto gastos generales.

Concepto	Descripción	Unidades	Coste Unitario (€)	Coste (€)
Personal	Patrón embarcación (1 día)	1	250,00	250,00
	Horas Técnico	12	24,00	288,00
Total personal				538,00
Embarcación	Alquiler (1 día)	1	330,00	330,00
	Combustible (31.8 l/h)	12	44,52	534,24
Total Embarcación				864,24
Material	SQM-LU-DL	1	170,37	170,37
	GPS Garmin e-trex	1	168,95	168,95
	Pack 8 pilas AA	1	9,09	9,09
	Soporte marino SQM	1	143,27	143,27
Total Material				491,68
Gastos Generales (13%)				246,21
Beneficio industrial (6%)				113,64
Total antes impuestos				2.253,76
I.V.A. (21%)				473,29
TOTAL TRABAJO DE CAMPO POR SALIDA				2.727,06

Tabla 15 Presupuesto Trabajo de Campo

7. Estudio Impacto Ambiental.

Todos los productos dañan el medio ambiente de una forma u otra. Las materias primas tienen que extraerse, el producto tiene que fabricarse, distribuirse, embalsarse y por último eliminarse. Durante la utilización de los productos suele producirse también un impacto ambiental, ya que en esta etapa del ciclo de vida se suele consumir energía o materiales. Si deseamos valorar el daño ambiental de un producto, debemos estudiar todas las etapas de su Ciclo de Vida, de la cuna a la cuna.

Para poder evaluar el impacto ambiental del producto se han utilizado eco indicadores.

Los eco indicadores son el resultado de un proyecto desarrollado por un equipo multidisciplinar formado por industria punteras de diferentes sectores, científicos de centros de investigación independientes y el gobierno holandés. Su objetivo era el intentar conseguir evaluar el impacto ambiental que sobre el Medio Ambiente ejerce la actividad industrial, centrándose en el impacto sobre el ecosistema, los recursos y la salud humana a nivel europeo. Así se tuvieron en cuenta impactos tales como: el efecto invernadero, la reducción de la capa de ozono, la lluvia ácida, la disminución de los recursos naturales, la disminución de la biodiversidad y el smog. [30]

El eco indicador es una herramienta cuantitativa, es un número que indica el impacto ambiental unitario de un material, un proceso, un medio de transporte, del uso de un combustible o el impacto ambiental del desecho de un material. Están muy relacionados con las diferentes etapas del ciclo de vida del producto. Cuanto más alto es el número mayor impacto ambiental representa.

Esto nos permitirá evaluar el impacto ambiental del producto y poder-lo comparar con posteriores versiones mejoradas del producto.

Siendo el resultado:

Cuantificación el Impacto ambiental	mili puntos	%
debido a la producción	1.817,27	36
debido al uso	4.906,96	97
debido al desecho	-1.670,26	-33
debido a todo el ciclo de vida	5.053,98	100

Tabla 16 Cuantificación del impacto ambiental del ciclo de vida del producto

Se puede observar que gracias a un diseño pensado para facilitar el desensamblado de sus componentes y gestionando correctamente la fase de desecho (reciclado de sus componentes), el impacto ambiental principalmente se debe a su uso, ya que la fase de desecho compensa casi en su totalidad el impacto generado en su producción.

Para el cálculo de los eco indicadores se han utilizados los valores de las bases de datos eco-indicadores 99 y ecolizer 2.0. [30] y [31] Si no se indica lo contrario las cantidades son en kg y el indicador en mili puntos / kg.

A continuación se muestra en detalle la cuantificación del impacto ambiental en función de sus eco indicadores para las fases de producción, uso y desecho.

Producción (Materiales, procesos y transporte)

Material o proceso	Cantidad	Indicador	Resultado
PVC rígido	1,274	270	343,98
Moldeado por inyección	1,274	44	56,06
Polietileno (PP)	2,267	330	748,11
Moldeado por inyección	2,267	21	47,61
Goma EPDM	0,003	360	1,08
Acero Inoxidable	0,666	551	366,97
Torneado	0,136	682	92,75
Corte estampación (mm ²)	48.380,53	0,00006	2,90
Aluminio 100% reciclado	0,736	134	98,62
Extrusión aluminio	0,736	72	52,99
Madera maciza pino	0,650	6,6	4,29
Cristal blanco	0,021	91	1,91

Impacto ambiental debido a la producción	1.817,27
---	-----------------

Uso (Transporte, energía y materiales auxiliares)

Material o proceso	Cantidad	Indicador	Resultado
Consumo Gasolina sin plomo	17	210	3.570,00
Navegación a motor (tkm)	0,66804	4,4	2,94
Transporte por carretera con utilitario (tkm)	0,5567	29	16,14
Pilas recargables NiMH	0,2	6.119	1.223,80
Electricidad consumida recarga (kWh)	1,68	56	94,08

Impacto ambiental debido al uso	4.906,96
--	-----------------

Desecho (Para cada tipo de material)

Material y tipo de proceso	Cantidad	Indicador	Resultado
Reciclado PVC	1,274	-170	-216,58
Reciclado Polietileno (PP)	2,267	-210	-476,07
Tratamiento residuo urbano Goma EPDM	0,003	50	0,15
Reciclado Acero Inoxidable	0,666	-475	-316,35
Reciclado Aluminio	0,736	-915	-673,44
Tratamiento residuo urbano madera maciza	0,650	19	12,35
Reciclado vidrio	0,021	-15	-0,32

Impacto ambiental debido al desecho	-1.670,26
--	------------------

Tabla 17 Valores de eco indicadores en producción, uso y desecho del producto

Mencionar que debido al uso de combustibles fósiles durante las dos mediciones realizadas, las emisiones de CO₂ equivalente a la atmosfera han sido de 59.5 kg.

$$25 \text{ litros (gasolina 95)} \times \frac{2,38 \text{ kg de CO}_2 \text{ eq}}{1 \text{ litro gasolina 95}} = 59,5 \text{ kg de CO}_2 \text{ eq}$$

El factor de conversión se ha obtenido de la oficina catalana del “canvi climàtic”. [32]

Por otro lado, la ejecución del presente proyecto, poder controlar (cuantificar) el impacto de la contaminación lumínica producido por las ciudades y poder medir la calidad del cielo nocturno en sus aguas, genera indirectamente los siguientes impactos ambientales positivos al ser una herramienta más en la gestión de la eficiencia energética en alumbrado de las ciudades:

- Reducción en el consumo de recursos energéticos.
- Reducción en el consumo de recursos materiales.
- Reducción en contaminación atmosférica.
- Mejora del hábitat natural marino y terrestre para las especies.

Conclusiones

Debido a los efectos negativos que la contaminación lumínica produce sobre el hábitat natural, perturbando el comportamiento natural de las especies animales y vegetales, ocasionando molestias y posibles afectaciones de salud en las personas y generando un gasto innecesario de recursos energéticos y por consiguiente económicos, es un aspecto que cada vez va adquiriendo mayor importancia para la sociedad en general y para las Administraciones Públicas.

Así mismo se están desarrollando nuevos modelos de negocios basados en la calidad del cielo nocturno contribuyendo a la conservación de espacios de interés natural.

Para analizar y estudiar los aspectos anteriormente indicados se pueden consultar estudios de campo con mediciones de la calidad del cielo nocturno en ciudades, poblaciones y zonas naturales en tierra, pero no estudios con mediciones desde el mar como las realizadas en el presente proyecto.

Las dificultades añadidas que comporta la toma de mediciones sobre una embarcación ha conllevado el desarrollo de un sistema específico para ello.

El sistema se ha diseñado para que sea fácilmente adaptable a distintas tipologías de embarcación, de recreo, mercantes, velero o motoras, aunque está pensado para trabajar en embarcaciones de grandes esloras, (superiores a 50 m) las pruebas realizadas en navegación real con un velero de reducidas dimensiones (6,50 m) han dado resultados satisfactorios. Admite trabajar con inclinaciones longitudinales de $\pm 25^\circ$ e inclinaciones transversales de $\pm 50^\circ$. Más que suficientes para situaciones normales de navegación.

En relación con las lecturas obtenidas, estas están en concordancia con los valores esperados, aumento progresivo de la oscuridad al alejarse de la costa y con las previsiones de los modelos basados en fotografías vía satélite, concretamente con el mapa de David Lorenz, Star light pollution map 2006.

Dentro de esta concordancia, señalar que las medidas reales nos indican el inicio de las zonas con calificación baja, moderada y buena de la calidad del cielo nocturno más cercana a la costa que lo que indican las lecturas estimadas, no siendo así para la calificación de muy buena calidad.

Siendo en la ruta 2 de estudio las discrepancias en los intervalos de calidad encontrados de 0,1 km para el inicio de la calidad baja, de 2,6 km para el inicio de la calidad moderada y de 4 km para la calidad buena y superior a 4 km para el inicio de la calidad muy buena.

Se confirma que la calidad del cielo en la ciudad de Barcelona es baja y es necesario alejarse a unos 10 km de la costa para obtener una calidad del cielo buena, que permita empezar a ver la vía láctea. A 32 km de la costa las condiciones continúan siendo las mismas, calidad buena, (según las estimadas a 27 km se debería estar en zona de calidad muy buena), dando una idea del impacto que tiene la ciudad de Barcelona y hasta donde llega la contaminación lumínica para poder disfrutar de un cielo virgen.

Durante las navegaciones nocturnas en el mar se observa que es posible identificar y deducir la ubicación de las ciudades y su tamaño en función del resplandor luminoso que se divisa sobre ellas a grandes distancias mar a dentro.

Remarcar que la observación y medición del resplandor luminoso desde el mar puede utilizarse como herramienta para evaluar las políticas energéticas y de alumbrado público en las ciudades costeras.

Líneas de desarrollos futuros:

Este trabajo ha supuesto un pequeño avance en un campo que hasta ahora no se había tratado. Se han resuelto algunos problemas técnicos y se han facilitado resultados de las mediciones. A pesar de ello, el trabajo no está finalizado y hay distintas posibilidades de mejorar, ampliar y perfeccionar el sistema:

- Estudiar la posibilidad de introducir mejoras en el diseño del sistema con la utilización de motores eléctricos (Gimbal) con su controladora para reaccionar más rápidamente a las perturbaciones del sistema.
- Diseñar un aparato que tenga integrado en una misma carcasa, el sensor fotométrico, un GPS y acelerómetros para automatizar la toma de medidas y posterior validación y tratamiento de los resultados.
- Utilizar las líneas regulares de los buques mercantes para realizar estudios de la calidad del cielo nocturno para poderlas comparar en el tiempo y en función de distintas condiciones atmosféricas. Y ver la evolución a lo largo de los años del impacto de la CL en función de las mejoras en política de alumbrado.
- Tomar medidas alrededor de los buques de pasaje con distintas configuraciones de encendido de luces para determinar su contribución a la CL en ambientes oscuros sin influencia de otros focos contaminantes.
- Estudiar la influencia del impacto lumínico de la torre petrolífera Casablanca delante de Tarragona y compararlo con el modelo de David Lorenz.
- Hacer un mapa detallado para ver la afectación de la CL en espacios protegidos marinos, como por ejemplo, Islas Medas, Islas Columbretes, Archipiélago de Cabrera y Cap de Creus.

Agradecimientos

El presente proyecto no se podría haber realizado y haber llegado a buen puerto sin la supervisión, buenos consejos, presiones y ánimos del Doctor Manuel García.

A mi compañero de fatigas el Sr. Gabriel Gutiérrez con el que he compartido las inclemencias del largo camino.

A Oriol López quien siempre ha respetado mis paradas en el camino y me ha animado a volver a la senda.

A toda la tripulación de Marcos la Leyenda, Álvaro, David, Guti, Isaac, Manu, Tito, Uri y al Sr. X.

A la infinita paciencia, soporte incondicional de quien durante esta larga singladura se ha convertido en mi esposa, Lucia Cuesta, aguantando las peores ceñidas y los interminables bordos chinos.

A mi padre, Josep Ges, quien siempre ha estado a mi lado en todo momento, respetando mis decisiones hasta el final.

A mi madre que “ al cel descansa ” Esther Cros.

Bibliografía

7.1. Referencias bibliográficas.

- [1] UNESCO Y EQUIPE COUSTEAU, *Declaración Universal de los Derechos Humanos de las Generaciones Futuras*. La Laguna, Tenerife. 1994.
- [2] GENERALITAT DE CATALUNYA, *Decret 190/2015, de 25 d'agost, de desplegament de la Llei 6/2001, de 31 de maig d'ordenació ambiental de l'enllumenat per a la protecció del medinocturn*. Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya, Agosto 2015.
- [3] THE ROYAL COMMISSION ON ENVIRONMENTAL POLLUTION, *Artificial Light in the Environment*, Reino Unido, 2009.
- [4] IALA-AISM, *Manual de conservación de faros*, Francia 2006.
- [5] FIERAS DE LA INGENIERIA, *buque de pasaje* [<http://www.fierasdelaingenieria.com/los-barcos-de-pasajeros-mas-grandes-del-mundo/>], 15 septiembre 2016].
- [6] ALMARIN, *señales marítimas*, [<http://www.almarin.es/es/senales-maritimas>], 15 septiembre 2016].
- [7] VILFER ELECTRIC, *Plataforma petrolífera Casablanca*, [<http://www.vilferelectric.com/es/2016/03/02/plataforma-petrolifera-casablanca>], 15 septiembre 2016].
- [8] INSTITUTO HIDROGRAFICO, *Reglamento Internacional para Prevenir los Abordajes en la Mar –RIPA-*, Ministerio de Defensa, 2015.
- [9] INTERNATIONAL ASSOCIATION OF MARINE AIDS TO NAVIGATION AND LIGHTHOUSE AUTHORITIES, *Naveguide aids to navigational manual*, 7th edition, 2014.
- [10] LAES, *Lámparas de pesca*, [<http://www.laes.com>], 15 septiembre 2016].
- [11] MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, *Orden ARM/2529/2011, de 21 de septiembre, por la que se regula la pesca con artes de cerco en el caladero Mediterráneo*. BOE.
- [12] CLICK CRUCEROS, *buque de pasaje*, [<http://cruceroonclick.com/ficha.php?id=1175>], 15 septiembre 2016].
- [13] UNIHEDRON, *SQM-LU-DL Operator's Manual*, [http://www.unihedron.com/projects/darksky/cd/SQM-LU/SQM-LU_Users_manual.pdf], 15 septiembre 2016].

- [14] SPOELSTRA, H. "Night sky brightness monogram ",
[<http://www.darkskiesawareness.org/>, 2013].
- [15] ASTMON, Monitores de contaminación lumínica, [<http://astro-itec.es/ASTMON>, 15 septiembre 2016].
- [16] CONAMA, Contaminación lumínica,
[<http://www.celfosc.org/biblio/general/conama92008.pdf>, 15 septiembre 2016].
- [17] FUNDACIÓN STARLIGHT, [<https://fundacionstarlight.org/>, 15 septiembre 2016].
- [18] GENCAT, Mapa protección Contaminación lumínica Catalunya,
[<http://sig.gencat.cat/visors/pcl.html>, 15 septiembre 2016]
- [19] PEREZ T., *Mathematical Ship Modeling for Control Applications*. University of Newcastle, Australia.
- [20] OLIVELLA J., *Teoría del buque, Ola trocoidal, movimientos y esfuerzos*, Politext-UPC, 2011
- [21] COSTA J.B., *Capitán de Yate*, Formentera 2005.
- [22] O'DOGHERTY, *Comportamiento en el mar de buques pesqueros*, Ministerio de defensa, Madrid 1975.
- [23] INGENIERO MARINO, Sistemas estabilizadores,
[<https://ingenieromarino.wordpress.com>, 15 septiembre 2016].
- [24] VOOSESTORE, Estabilizadores de cámara,
[<http://www.voosestore.com/es/steadycamstabilizer/?gclid=COSh3JK9oM8CFYYy0wod2WgDKw>, 15 septiembre 2016].
- [25] GRUP D'ESTUDIS LUMINOTÈCNICS [<http://grlum.dpe.upc.edu/>, 15 septiembre 2016].
- [26] ÀREA METROPOLITANA DE BARCELONA, *PSAMB 2014-2020 Avaluació de l'impacte ambiental lumínic de les instal·lacions d'enllumenat artificial nocturn a zones protegides de l'AMB*, Barcelona, 2014.
- [27] LORENZ D., *Light Pollution Atlas 2006*, <http://djllorenz.github.io/astronomy/lp2006>
- [28] METEOCAT, Predicción meteorológica [<http://www.meteo.cat/prediccio/models/wrf>, 12 agosto 2016].
- [29] WIKIPEDIA, formula calculo distancia entre coordenadas terrestres
[http://es.wikipedia.org/wiki/F%C3%B3rmula_del_Haversine, 15 septiembre 2016].
- [30] IHOBE, *Manual práctico de ecodiseño. Operativa de implantación en 7 pasos*.
[<http://www.ihobe.net/Publicaciones/ficha.aspx?IdMenu=750e07f4-11a4-40da-840c-0590b91bc032&Cod=414a18ef-dd57-4b40-8746-407d517f7bda&Idioma=es-ES&Tipo=>, 15 septiembre 2016].

- [31] ECOLIZER DESIGN TOOL, Base de datos de ecoindicadores en milipuntos
[<http://www.ecolizer.be/catalogue/77>, 15 septiembre 2016].
- [32] OFICINA CATALANA DEL CANVI CLIMÀTIC, *Guia pràctica per al càlcul d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle 2016*,
[http://canviclimatic.gencat.cat/ca/reduex_emissions/guia_de_calcul_demissions_de_co2/, 15 septiembre 2016].

7.2. Otras Referencias Bibliográficas.

- AVELLO A., *Teoría de Maquinas*, Tecnun Universidad de Navarra, Enero 2014
- BEER&JOHNSTON&CORNWELL, *Mecánica vectorial para ingenieros*, Mc Graw Hill, 9º edición.
- GARCIA GIL M., *Predicción del impacto ambiental de la contaminación lumínica. Propuesta de una metodología para proyectos luminotécnicos de ingeniería*. Barcelona 2015.
- BUDYNAS R.& NISBETTKEITH, *Diseño en ingeniería mecánica de shigley*, Mc Graw Hill, Octava edición.
- GOMEZ S., *El gran libro de Solidworks*, Marcombo Ediciones Técnicas, 2008.
- GOMEZ S., *SolidWorksSimulation*, Ra-Ma, 2010.
- IHOBE, *Eco-diseño Análisis de ciclo de vida y huella de Carbono*, Euskadi 2009.
- MINISTERIO DE DEFENSA, *Almanaque Náutico 2016*, Madrid: 2015.
- MINISTERIO DE FOMENTO & PUERTOS DEL ESTADO, *Sistemas de ayudas a la navegación*.
- OTTO K. & WOOD K., *Product Design Techniques in Reverse Engineering and New Product Development*, New Jersey: Pretince Hall 2001.
- REE CL, Red española de estudios sobre la contaminación lumínica,
[<https://guaix.fis.ucm.es/splpr/>, 15 septiembre 2016].
- RIBAS C., *Disseny de màquines V Metodologia*, Edicions UPC 2002